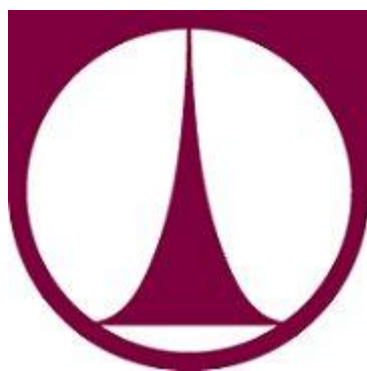


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

FAKULTA STROJNÍ  
Katedra vozidel a motorů



**DIAGNOSTIKA POHONŮ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ  
VE FIRMĚ CONTINENTAL AUTOMOTIVE**

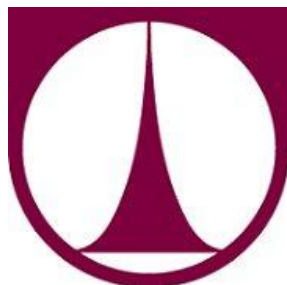
**DIAGNOSTIK OF MACHINES TOOL DRIVE IN THE  
CONTINENTAL AUTOMOTIVE COMPANY**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Bc. Lukáš Procházka

Květen 2015

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
Katedra vozidel a motorů



Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení  
Zaměření: Motorová vozidla

**DIAGNOSTIKA POHONŮ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ  
VE FIRMĚ CONTINENTAL AUTOMOTIVE**

**DIAGNOSTIK OF MACHINES TOOL DRIVE IN THE  
CONTINENTAL AUTOMOTIVE COMPANY**

Diplomová práce

KVM – DP

Bc. Lukáš Procházka

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Elias Tomeh - TU v Liberci, KVM  
Konzultant diplomové práce: Helmut Anders – Continental Automotive Czech Republic s.r.o.

Počet stran: 58  
Počet obrázků: 18  
Počet příloh: 4  
Počet výkresů: 0

Květen 2015

# **Diagnostika pohonů obráběcích strojů ve firmě Continental automotive**

## **Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá vibrodiagnostikou a vyvažováním vřeten CNC obráběcích strojů ve společnosti Continental v Trutnově. Návrhem metodiky vyvažování, analýzou, vyhodnocováním naměřených dat a nastavením prediktivní údržby pro technické oddělení. V práci je také posouzení finanční úspory před a po koupi vibrodiagnostického zařízení. K měření na strojích INDEX V 160 C bylo použito vibrodiagnostické zařízení SCHENCK SmartBalancer.

## **Klíčová slova:**

Vibrodiagnostika CNC strojů

INDEX V 160 C

Metodika vyvažování

## **Diagnostic of machines tool drive in The Continental automotive company**

## **Annotation:**

This degree work thesis compares vibrodiagnostic and balancing spindle of CNC machine tool processes at Continental company in Trutnov. The proposal balancing methodology, analysis, evaluation of measurement data and settings predictive maintenance for engineering department. In this work is also assessing the financial savings before and after the purchase vibrodiagnostic devices. For measurement on machine INDEX V 160 C was used vibrodiagnostic equipment SCHENCK SmartBalancer.

## **Key words:**

Vibrodiagnostik CNC machine tool

INDEX V 160 C

Methodology of balancing

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno:

2015

Archivní označení zprávy:

## Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovanou úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....

podpis

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Procházka**  
Osobní číslo: **S12000811**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**  
Název tématu: **Diagnostika pohonů obráběcích strojů ve firmě Continental Automotive**  
Zadávající katedra: **Katedra vozidel a motorů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Studijní a experimentální práce zaměřené na návrh vibrační diagnostiky včetně obráběcích strojů a indikaci jejich mechanických závad ve firmě Continental Automotive.

1. Seznamte se s postupy ve firmě Continental Automotive (servisními intervaly údržby před a po zakoupení nového měřicího přístroje, náklady na diagnostické sledování vibrací, atd.), proveďte rozbor dynamických poměrů náhonu obráběcích strojů a proveďte výpočet hlavních zdrojů buzení.
2. Popište závady součástí obráběcích strojů a způsoby snížení jejich hluchosti. Navrhněte způsoby provedení diagnostiky obráběcích strojů.
3. Posuďte konstrukční uložení pohonů obráběcích strojů ve firmě Continental Automotive, popište vliv vibrací na jakost výroby.
4. Navrhněte metody měření vibrací obráběcích strojů, způsob analýzy provedených měření a návrh orientačních mezních hodnot vibrací pro posouzení stavu poškození součástí obráběcích strojů.
5. Během řešení diplomové práce spolupracujte s firmou Continental Automotive.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran textu

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] TOMEH, Elias. Diagnostic Methodology of Rolling Element and Journal Bearings. /Skripta TU v Liberci/, TUL Liberec, 2007.
- [2] JANOUŠEK, Ivo. Technická diagnostika. Praha 1988.
- [3] SKF Hlavní katalog.
- [4] Příručka SKF pro údržbu ložisek.
- [5] Časopisy a katalogy firem.
- [6] ORHAN, S., AKTÜRK, N., VELIK, V. Vibration Monitoring for Detect Diagnosis of Rolling Elements Bearings as a Predictive Maintenance Tool: Comprehensive Case Studies. NDT&E International. Vol. 39, No. 4, 2006, pp. 293-298.
- [7] SCHENCK. Preventivní údržba strojů.

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Elias Tomeh  
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání diplomové práce: 6. března 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 6. června 2016

L.S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

Ing. Robert Voženilek, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 6. března 2015

## Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval panu Doc. Dr. Ing. Eliasu Tomehovi a panu Helmutu Andersovi za cenné rady a připomínky týkající se obsahu a zpracování diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval celému technickému oddělení firmy Continental v Trutnově zejména panu Petru Florišovi a Václavu Šimkovi za odborné rady a pomoc se stroji INDEX V 160 C. Také děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu.

## Seznam symbolů a zkratek

<b><i>GM</i></b>	grinding machine (brousící stroj)
<b><i>GB</i></b>	gigabyte – jednotka množství informace
<b><i>IP</i></b>	ingress protection (stupeň krytí)
<b><i>IP 65</i></b>	stupeň krytí - prachotěsné, chráněno proti tryskající vodě v různých směrech
<b><i>NC</i></b>	numeric control (číslicové řízení)
<b><i>PLC</i></b>	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)
<b><i>NCU</i></b>	numeric control unit (jednotka číslicového řízení)
<b><i>PCU</i></b>	personal computer unit (osobní počítačová jednotka)
<b><i>CNC</i></b>	computer numeric control (číslicové řízení počítačem)
<b><i>RMS</i></b>	root mean square („odmocnina průměru čtverců“ neboli efektivní hodnota)



## Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>13</b>
2.1. CNC obráběcí stroje .....	13
2.1.1. CNC obráběcí stroj – INDEX V 160C .....	14
2.1.2. Diagnostický přístroj SCHENK SmartBalancer .....	15
2.1.3. Vysokorychlostní vřetena firmy GMN .....	16
2.2. Servisní intervaly údržby .....	17
2.2.1. Interval: 1x za směnu .....	17
2.2.2. Interval: Denní údržba .....	18
2.2.3. Interval: Týdenní údržba .....	18
2.2.4. Interval: Měsíční údržba .....	18
2.2.5. Interval: po 3 měsících .....	18
2.2.6. Interval: Půlroční údržba .....	18
2.2.7. Interval: Roční údržba .....	19
2.2.8. Interval: po 3 letech .....	19
2.2.9. Interval: po 5 letech .....	19
2.3. Náklady diagnostického sledování vibrací externí firmou .....	19
2.4. Závady součástí obráběcích strojů .....	20
2.5. Způsob snížení hlučnosti obráběcích strojů .....	21
<b>3. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>23</b>
3.1. Výpočet hlavních zdrojů buzení .....	23
3.2. Návrh způsobu diagnostiky obráběcích strojů .....	25
3.3. Posouzení konstrukčního uložení pohonů obráběcích strojů a rozbor dynamických poměrů náhonů obráběcích strojů .....	25
3.4. Vliv vibrací na jakost výroby .....	26
3.5. Návrh a výběr metody technické diagnostiky obráběcích strojů a valivých ložisek vřeten .....	29
3.5.1. GM-01, GM-02, GM-03, GM-10, GM-11, GM-12 .....	32
3.5.2. GM-20 .....	33
3.6. Návrh metody měření vibrací a způsob analýzy provedených měření na obráběcích strojích .....	34

3.6.1. Měření na GM-01, GM-02, GM-03	34
3.6.1.1. GM-01	34
3.6.1.2. GM-02	36
3.6.1.3. GM-03	37
3.6.2. Měření na GM-04, GM-05, GM-06, GM-07, GM-08, GM-09	38
3.6.2.1. GM-04	38
3.6.2.2. GM-05	39
3.6.2.3. GM-06	40
3.6.2.4. GM-07	41
3.6.2.5. GM-08	42
3.6.2.6. GM-09	43
3.6.3. Měření na GM-10, GM-11, GM-12	45
3.6.3.1. GM-10	45
3.6.3.2. GM-11	46
3.6.3.3. GM-12	47
3.6.4. Měření na GM-20	49
3.6.5. Porovnání naměřených hodnot před a po analýze	50
3.7. Návrh orientačních mezních hodnot vibrací pro posouzení stavu poškození součástí obráběcích strojů	51
3.8. Způsob analýzy provedených měření	52
<b>4. ZÁVĚR</b>	<b>54</b>
Seznam použité literatury	57
Přílohy	

## Použitá terminologie

<b><i>Deublin</i></b>	rotační přívod vzduchu a chladicí kapaliny do vřetene
<b><i>EGR ventil</i></b>	automobilová součástka sloužící ke snížení škodlivých emisí výfukových plynů (Exhaust Gas Regulator)
<b><i>Rail</i></b>	vysokotlaký zásobník
<b><i>Aktuátor</i></b>	zařízení převádějící rotační pohyb stejnosměrného motorku na lineární pohyb
<b><i>INDEX V 160 C</i></b>	CNC obráběcí stroj
<b><i>EMAG VL 3</i></b>	CNC obráběcí stroj
<b><i>CHIRON DZ 15</i></b>	CNC obráběcí stroj
<b><i>KADIA T20</i></b>	automatické honovací centrum

# 1. UVOD

Prvotním impulzem pro vytvoření této diplomové práce ve firmě Continental v Trutnově byly nastalé problémy s vyvážením obráběcích vřeten na strojích INDEX V 160C. Nevyvážené vřeteno mělo za následek nekvalitní obrobky, vysoké opotřebení nástrojů a vysoké náklady z hlediska diagnostiky a údržby strojů. Díky těmto problémům bylo rozhodnuto o koupi nového diagnostického vyvažovacího zařízení od firmy SCHENK. Jedná se o přístroj SmartBalancer, který je jedním z nejlepších vibrodiagnostických strojů na trhu.

Dalším velice důležitým důvodem pro pořízení přístroje byla samotná prediktivní údržba strojů a to nejenom strojů INDEX V 160 C, ale v podstatě všech obráběcích strojů, elektromotorů a převodovek. Tato údržba je v oddělení údržby ne moc rozšířená tudíž je pravý čas ji zavést. Ať už se jedná o úsporu náhradních dílů jak z finanční tak logistické stránky nebo usnadnění práce pracovníkům údržby při hledání závad na strojích. Ve firmě Continental je mnoho zkušených a kvalitních techniků, ale přijít na závadu je někdy až nadlidský úkol i pro tak zkušené pracovníky. Proto oddělení údržby nezbyvá než zavolat servis, který je ale velice nákladný a zvyšuje se tak prostojovost stroje, což je další velice nákladný aspekt. Když uvážíme dobu, než se servis vůbec dostane ke stroji a dobu na jeho řešení tak se jedná poměrně o velkou částku. Tudíž doufám, že díky novému systému údržby se odstraní velká většina těchto problémů.

Práce je rozdělena do dvou základních částí teoretické a praktické. V teoretické části práce se zabývám popisem stroje INDEX V 160 C, přístroje SCHENK SmartBalancer a vysokorychlostních vřeten GMN. Dále popisuji systém údržby a intervaly vztažené na stroj INDEX V 160 C. Poté porovnávám náklady na diagnostiku externí firmou s náklady zakoupeného diagnostického přístroje. Následně se zabývám závadami součástí obráběcích strojů a možným způsobem snížení hluchnosti obráběcích strojů.

V praktické části se nejprve zabývám výpočtem hlavních zdrojů buzení. Poté je popsán návrh způsobu diagnostiky a posouzení z hlediska konstrukčního uložení pohonů a rozbořem dynamických poměrů náhonů obráběcích strojů. V dalším bodě jsem se zaměřil na to, jaký vliv mají vibrace na kvalitu výroby, a posuzuji, jaká metoda technické diagnostiky se nejlépe hodí na diagnostiku obráběcích vřeten a valivých ložisek. V konečné fázi této práce se zaměřuji na samotný návrh měření a orientačních mezních hodnot vibrací obráběcích strojů a nakonec popisuji způsob analýzy provedených měření.

Cíle diplomové práce: - vytvoření metodiky vibrační diagnostiky na strojích index

- seznámení se s vibrodiagnostickým zařízením a proškolení pracovníků údržby
- porovnání finanční návratnosti vibrodiagnostického zařízení
- snížení vibrací na všech strojích INDEX V 160 C
- nastavení prediktivní údržby pro technické oddělení firmy Continental Automotive v Trutnově

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. CNC obráběcí stroje

Ve firmě Continental Automotive v Trutnově je výroba rozdělena do dvou divizí. Jedná se o divize SA neboli Sensor's and Actuator's a ES neboli Engine System. V divizi SA se vyrábějí např. EGR ventily a senzory výfukových systémů. V divizi ES se vyrábí dieselová a benzínová radiální čerpadla, nově také raily pro dieselové vstříkovací systémy a turbodmychadla. Většina dílů pro kompletaci senzorů, aktuátorů, čerpadel, railů a turbodmychadel je dodávána externími firmami a následně zkompletována na linkách firmy Continental. Jediné díly, které se prozatím obrábí v Trutnově, jsou válce pro radiální čerpadla, do budoucna by se měly vyrábět i raily a vrtulky s hřídelkami pro turbodmychadla.

CNC obráběcí stroje spadají do divize ES a vyrábí se na nich právě již zmiňované válce pro radiální čerpadla. Základní rozdělení výroby je na měkké a tvrdé obrábění. Měkké obrábění je počáteční obrábění odlitků nejprve na strojích EMAG VL 3, kde jsou provedeny prvotní operace na válcích jako soustružení, frézování a vrtání. Následně jdou díly na stroje CHIRON DZ 15, kde se provádí jemnější a přesnější operace jako je frézování, soustružení, vrtání a řezání závitů. Poté jdou díly na odjehlení a umytí do myček což je konečná operace měkkého obrábění. Tyto již obrobené díly putují do externí kalírny, kde jsou zakaleny a opět poslány zpět do Continentalu. Po zakalení se jedná již o tvrdé obrábění. Díly tedy jdou už na dokončovací operace jako je velmi jemné soustružení a broušení na strojích INDEX V 160 C a následně na honování a párování s písty, které se provádí na strojích KADIA T20. Poté už jdou díly jen na opětovné odjehlení a umytí. Tato operace je poslední v procesu obrábění, poté už jdou díly na montážní linku čerpadel, kde je zkompletováno celé čerpadlo, odzkoušeno a odesláno zákazníkovi.



Obr. 1 Odlitek válce a kompletně obrobený válec

### 2.1.1. CNC obráběcí stroj – INDEX V 160 C

Stroje INDEX V 160 C jsou vyráběny v malém městečku Reichenbach an der Fils nedaleko Stuttgartu v Německu. Stroje jsou dodávány a vyráběny s drobnými obměnami na přání zákazníka. Drobné obměny jsou myšleny především zástavba a umístění revolverového zásobníku, vřeten a vřeten s brusným kotoučem. Tyto stroje jsou především používány díky své vysoké přesnosti na broušení a jemné soustružení.

Ve firmě Continental Automotive v Trutnově je těchto strojů třináct a jsou rozděleny podle druhu operace a podle daného typu válce. Označení těchto strojů je od GM-01 po GM-12 a nejnovější stroj ve firmě má označení GM-20. Stroje GM-01 až GM-03 a GM-10 až GM-12 jsou osazeny hlavním vřetenem, revolverem a vysokorychlostním brusným vřetenem od firmy GMN. Na rozdíl od strojů GM-04 až GM-09, na kterých je pomaluběžné brusné vřeteno místo vysokorychlostního. Poslední z těchto strojů GM-20 je naopak osazen hlavním vřetenem, pomaluběžné brusné vřeteno, revolverem a dvěma vysokorychlostními brusnými vřeteny. Tyto stroje nejsou rozděleny nejen podle zástavby, ale samozřejmě i podle operací a typů výrobků.



Obr. 2 CNC obráběcí stroj INDEX V 160 C (GM-20)

### 2.1.2. Diagnostický přístroj SCHENCK SmartBalancer

Jedná se o poměrně nové vyvažovací zařízení od firmy SCHENCK, které je svými vlastnostmi jedním z nejlepších vibrodiagnostických přístrojů na dnešním trhu. Vyniká intuitivním ovládáním přes graficky uživatelské rozhraní, ergonomickým designem, svým promyšleným a perfektním grafickým displejem, zajišťuje vysoký komfort při jeho používání. Při sběru dat vyniká velmi krátkou dobou měření, což je umožněno nejmodernějším procesorem a optimalizací zpracovávání měření. Disponuje také řadou funkcí pro interpretaci naměřených dat a praktickými šablonami zjednodušujícími analýzu komplikovaných problémů strojních zařízení. Přístroj má rovněž Li-iontovou baterii s možností měření až 8 hodin a paměť o kapacitě 2 GB. Je ho samozřejmě možné použít v prašném, vlhkém i olejovém prostředí. Přístroj je robustní konstrukce s krytím IP 65. Data z přístroje je možné dostat několika způsoby a to buď přes software, připojením přístroje k počítači a následné analýze, nebo připojením k tiskárně a následným tiskem. Tento přístroj dokáže evidovat všechny formy nevyváženosti a stav valivých ložisek pomocí obálkové metody. K přístroji jsou dodávány dva piezoelektrické akcelerometry, jeden laserový snímač otáček s magnetickým stojánkem a kabely pro připojení k přístroji a dotyková sonda pro přímé měření.



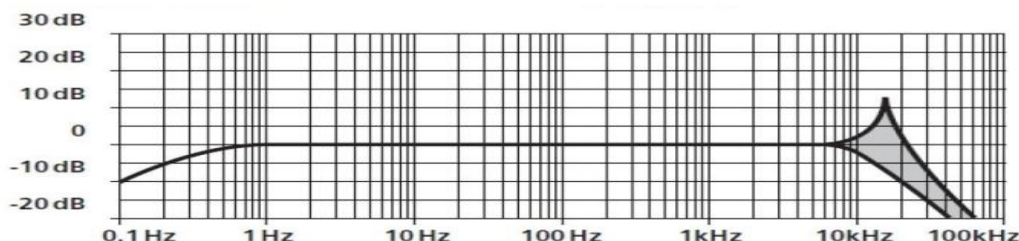
Obr. 3 Vibrodiagnostické zařízení SCHENCK SmartBalancer



### Použité snímače:

#### **Akcelerometr VIB 6.147**

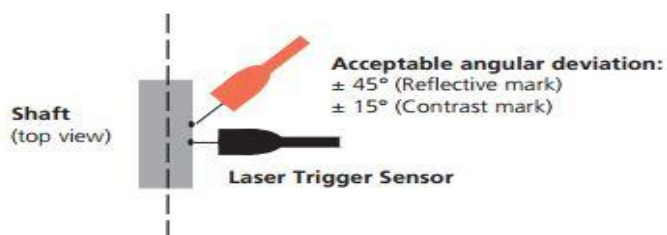
- Pro měření vibrací do 10 kHz a pomaluběžné stroje
- Maximální měřicí rozsah  $450 \text{ m/s}^2$
- Rezonanční frekvence 17 kHz



Obr. 4 Frekvenční charakteristika akcelerometru VIB 6.147

#### **Laserový senzor otáček VIB 6.631**

- Vlnová délka 670 nm
- Měřicí rozsah 0,1 - 600000 1/min
- Teplotní rozsah  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$



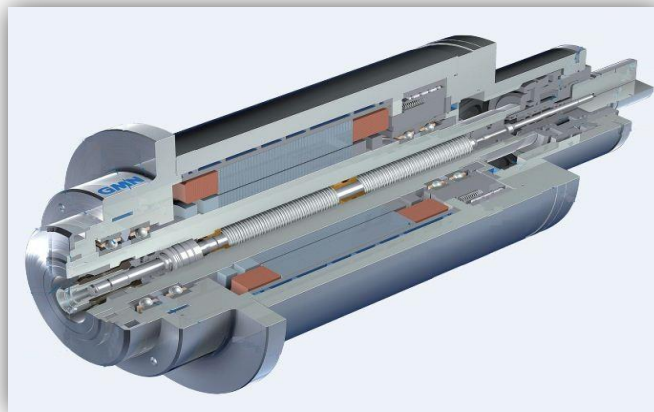
Obr. 5 Umístění laserového snímače otáček VIB 6.631

### **2.1.3. Vysokorychlostní vřetena firmy GMN**

Firma GMN je v oblasti výroby vysokootáčkových vřeten a velmi přesných kuličkových ložisek světovou špičkou již 90 let. Je vzorem přesnosti, výkonnosti, tuhosti a spolehlivosti. Vřetena jsou schopna obrábět až 250000 1/min.

Na strojích INDEX V 160 C ve firmě Continental jsou použity pouze dva typy vysokorychlostních vřeten ze sortimentu firmy GMN. Prvním je HSX 100 – 105000/2 na tomto vřetenu je možno dosáhnout až otáček 105000 1/min při 2 kW. Druhým vřetenem je HSX 100 – 90000/3 toto vřeteno má maximální otáčky 90000 1/min při 3 kW.

Všeobecně platí, že čím rychleji se vřeteno otáčí, tím lépe musí být vyvážené a ložiska dokonale mazána. Na to jsou bohužel tato vřetena velmi náchylná vzhledem k jejich vysokým obráběcím rychlostem. Životnost ložisek je přibližně 6000 h (v nepřetržitém provozu devět měsíců) po tomto intervalu je zapotřebí ložiska vyměnit. Po 10000 h (v nepřetržitém provozu čtrnáct měsíců) je zapotřebí kompletní repase vřetena, což obnáší i přebroušení hlavního hřídele, výměnu ložisek a nevyvážení rotoru.



Obr. 6 Vysokorychlostní vřeteno od firmy GMN

## 2.2. Servisní intervaly údržby

V Trutnovské lokaci společnosti Continental je údržba na poměrně vysoké úrovni hlavně díky plánům údržby. Ty jsou speciálně vytvořeny oddělením údržby při dodání stroje nebo linky do firmy dodavatelem. Tyto dokumenty jsou vytvořeny hlavně z podkladů dodávaných výrobcí a zkušenostmi se stroji. Plány preventivní údržby jsou uloženy jak v papírové formě v kanceláři technického oddělení tak na centrální síti, kde si je může prohlédnout každý údržbář nebo technik k provedení údržby na daném stroji. Tyto preventivní údržby jsou rozděleny podle intervalu na 1x za směnu, denně, týdně, měsíčně, po 3 měsících, půlročně, ročně, po 3 letech, po 5 letech. Dále je pak plán údržby rozdělen podle toho kdo údržbu provádí a to může být seřizovač, externí firma nebo údržba. V další části diplomové práce je přesnější popis údržby na strojích INDEX V 160 C.

### 2.2.1. Interval: 1x za směnu

V plánech údržby pro tento interval je pouze úkon prováděný seřizovačem a to vizuální kontrola bezpečnostních prvků (dveřní spínač, total-stop, atd.) - pokud

jsou na zařízení instalovány. A vyčistit označené plochy na hlavním vřetenu od nalepených nečistot.

#### **2.2.2. Interval: Denní údržba**

Tento interval provádí také pouze seřizovač a má za úkol zkontrolovat, zda nejsou poškozena průhledná okna u dveří a při zjištění poškození informovat pracovníky údržby. Také musí zkontrolovat stav oleje v hydraulickém agregátu a v případě potřeby doplnění kontaktovat externí firmu. Jako poslední bod musí seřizovač zkontrolovat stav opotřebení dopravníkového pásu.

#### **2.2.3. Interval: Týdenní údržba**

Tento interval má na starosti z části seřizovač a to zkontrolovat mazání stlačeného oleje a případně olej doplnit. A druhou část má na starosti externí firma, která musí zkontrolovat centrální mazání k vysokorychlostním vřetenům firmy GMN a případně doplnit kapalinu nebo vyměnit filtr.

#### **2.2.4. Interval: Měsíční údržba**

V intervalu měsíční údržby je povinen seřizovač vyčistit dopravník špon. Pracovník údržby je povinen vyměnit filtr ventilace vřetena a skříňového rozvaděče, poté ještě musí vyčistit pouzdra hnacích a napínacích kladek řetězu a zkontrolovat napnutí řetězu. Dále pak má za úkol vyčistit a případně vyměnit filtrační vložky v elektrostatickém odlučovači.

#### **2.2.5. Interval: po 3 měsících**

V tomto intervalu není v plánu údržby žádný úkon.

#### **2.2.6. Interval: Půlroční údržba**

V půlročním intervalu má za úkol seřizovač vyčistit ochranné bezpečnostní sklo a pracovník údržby zkontrolovat zemnění hlavního vřetene zda není poškozené.

#### **2.2.7. Interval: Roční údržba**

Roční interval údržby je nejobsáhlejší. Zde musí pracovník údržby vyměnit filtrační vložky v jednotce zásobování a úpravy vzduchu, zkontrolovat a případně vyměnit ozubené řemeny, vizuálně a funkčně zkontrolovat bezpečnostní prvky a případně závady odstranit, vysávat vnitřní prostor rozvaděče a mřížek chladicího ventilátoru, vizuálně zkontrolovat jističe a relé. Poslední bod v tomto intervalu má na starosti externí firma a to výměnu hydraulického oleje a filtrační vložky filtru, vyčištění nádrže a kontrola těsnosti.

### 2.2.8. Interval: po 3 letech

Zde je zapotřebí, aby pracovník údržby vyměnil baterie NCU a baterie PCU 50.3.

### 2.2.9. Interval: po 5 letech

Po pěti letech je nutná výměna bezpečnostních oken pracovníkem údržby.

## 2.3. Náklady diagnostického sledování vibrací externí firmou

Již několikrát se v minulosti stalo, že se na stroji INDEX V 160 C vyskytli vibrace na úrovni neshodující se s kvalitou výrobou válců. S těmito problémy si oddělení údržby nedokázalo poradit bez specializovaného zařízení a znalostmi o vibrodiagnostice a vyvažování, proto byl objednáán externí servis, který tento problém vyřešil. Návštěva tohoto externího servisu ovšem není levnou záležitostí (viz. srovnání v tabulce 1.), proto se jako řešení problému navrhlo zakoupit si vlastní vyvažovací zařízení a ušetřit tak nemalé náklady na údržbu strojů.

Jako porovnání a určení výhod či nevýhod koupě vyvažovacího zařízení (za 9751 €) jsem využil srovnání cen zásahu pracovníky údržby a fakturou zásahu servisního technika firmy INDEX ze dne 21.5.2014 s popisem prováděné práce.

Tab. 1 Srovnání jednoho servisního zásahu

Popis činnosti		INDEX		CONTINENTAL-SCHENCK	
Činnost	Množství	Cena za jednotku (€)	Mezisoučet	Cena za jednotku (€)	Mezisoučet
Práce technika	15 h	102	1530	20	300
Čas strávený na cestě	14 h	102	1428	0	0
Cena za cestu	1400 km	0,79	1106	0	0
Cena za ubytování	2 dny	100	200	0	0
Suma		4264 €		300 €	

Z tabulky je vidět, že náklady za diagnostické zařízení a vyvažování oddělením údržby jsou srovnatelné s dvěma servisními zásahy od firmy INDEX. Ze záznamů servisních zpráv na strojích INDEX V 160 C jsem zjistil, že již třikrát bylo v minulosti zapotřebí zásahu externím servisem od firmy INDEX kvůli nadměrným vibracím na stroji.

Vzhledem k tomu, že stroje INDEX V 160 C pracují v nepřetržitém čtyřiadvacetihodinovém provozu již od roku 2010 ve firmě Continental, předpokládám, že se vibrace na strojích, životnost vřeten a lineárních vedení os budou jen zhoršovat. Z toho vyplývá, že by také ekvivalentně s problémy na strojích a s počtem strojů rostly i náklady na objednávání zásahů externí firmou. Načež náklady na interní vibrodiagnostické zařízení jsou jednorázové a náklady na diagnostiku vlastními zaměstnanci jsou šestinové, což je velice pozitivní pro firmu.

## **2.4. Závady součástí obráběcích strojů**

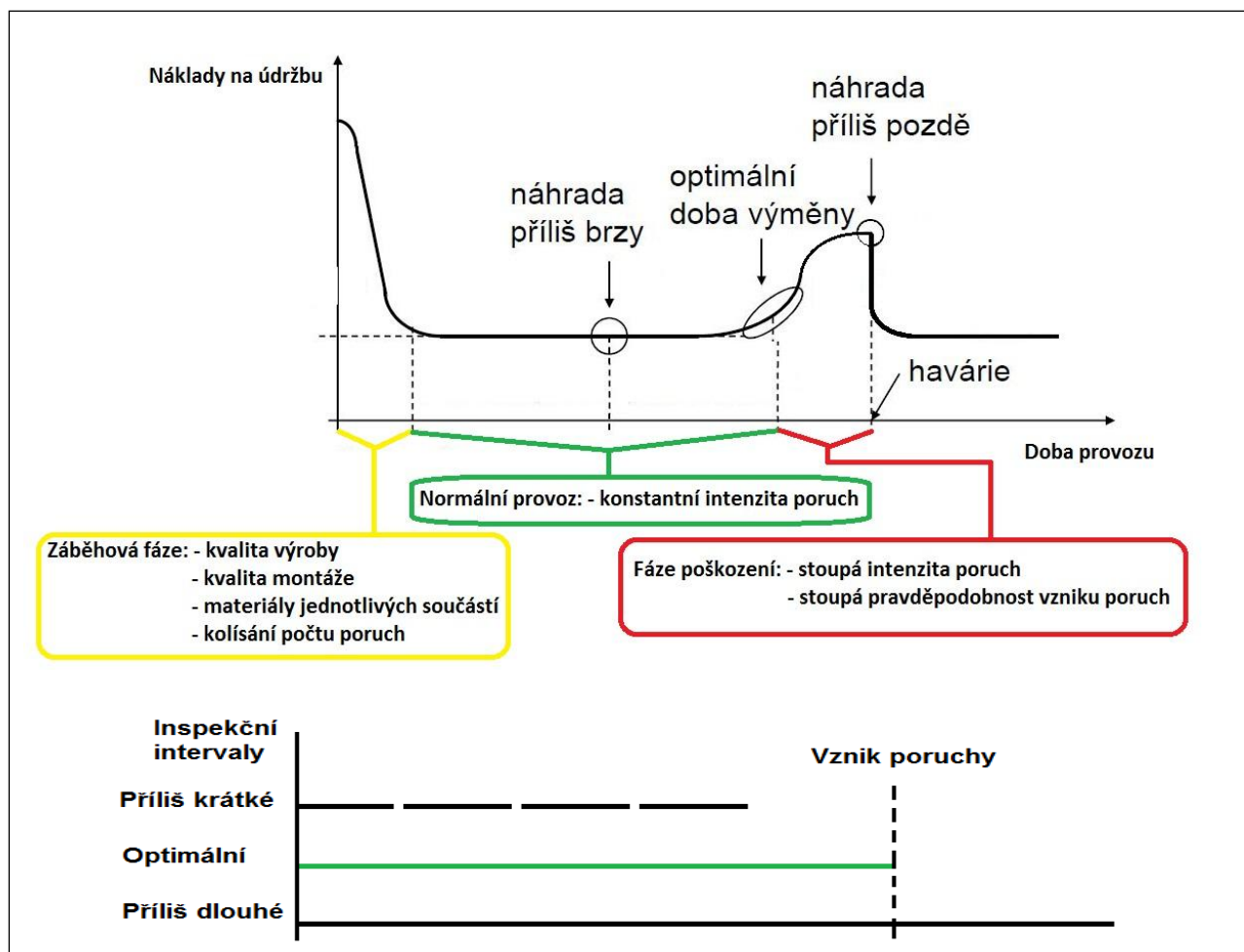
Jednoznačně definovat všechny závady obráběcích strojů je velmi obtížné a těžko předvídatelné, ale dají se specifikovat alespoň ty s nejvyšší opakovatelností. Nejprve bych je rozdělil do dvou částí a to na elektronické a mechanické.

Elektronické závady je velmi těžké predikovat, kromě elektromotorů, které se dají diagnostikovat. Pak se dají blíže rozdělit na softwarové a hardwarové. Softwarové poruchy jsou velmi těžko specifikovatelné, ale nejčastější porucha u většiny strojů je chyba NC a PLC zálohy řídicího systému.

Nejčastější hardwarové poruchy jsou vadný harddisk, poškozená karta řídicího systému, vadné lineární odměřování na ose X nebo Z, špatný jistič, poškozený snímač, opotřeбенý akumulátor hasicího zařízení, poškozený kabel.

Mechanické poruchy se na stroji vyskytují přibližně stejně často jako elektronické. Ty se dají dále rozdělit do sekcí, jako jsou závady na ose-X, ose-Z, hydraulice, chlazení, filtraci stroje, dopravníku špon, vzduchového odsávání olejových par. Mezi nejčastější mechanické poruchy na strojích patří opotřebovaný osový kuličkový šroub, poškozená kleština nebo brzda vřetene, zanesený nebo poškozený ionizační filtr, opotřebovaná ložisko. Zřejmě nejčastější a zároveň nejnákladnější mechanickou poruchou je poškozené vysokorychlostní vřeteno GMN.

Zásadním parametrem určujícím poškození mechanických dílů je opotřebení a životnost stroje, což určuje vanová křivka (viz. Obr. 7). Z toho důvodu je pravidelné sledování stavu stroje a diagnostika velmi důležitá pro firmu, která pracuje v třísměnném nepřetržitém provozu, jako je Continental a záleží jí na každém kvalitně vyrobeném kusu.



Obr. 7 Vanová křivka a graf inspekčních intervalů

## 2.5. Způsob snížení hluchnosti obráběcích strojů

Z biologického hlediska je hluk velmi nepříjemný a škodlivý svou nadměrnou intenzitou. Jeho účinky mohou poškodit lidský sluch, obtěžují a ruší soustředěnost zaměstnanců. Z fyzikálního hlediska je hluk nepravidelné vlnění způsobené složitým nepravidelným kmitáním těles nebo krátkými nepravidelnými rozruchy těles.

Zdrojů hluku na CNC strojích je hned několik a to od pohybu pohonů, chodu elektromotorů, pneumatických úniků vzduchu, čerpadel, valivých ložisek, ventilátorů, hydraulického agregátu, chodu hlavních a vysokorychlostních vřeten, a samotného obrábění. Zdroje hluku jsou velice nepříjemným faktorem pro obsluhu stroje a firmu, která stroj vlastní jelikož daný stroj musí splňovat určité hladiny hluku. Ne všechny zdroje hluku se dají odstranit, většina zmiňovaných zdrojů hluku je dána výrobou a samotným chodem součástí stroje. Jediné zdroje, které se dají na strojích INDEX

V 160 C odstranit, jsou nechtěné úniky vzduchu pneumatického systému, hluk od valivých ložisek, nevyváženosti a čerpadel.

Úniky vzduchu jsem měřil pomocí přístroje TSI Ultraprobe 15000, který dokáže určit i minimální únik na tlakovém vedení. Na strojích INDEX V 160 C jsem, ale žádné úniky nenašel, tudíž nebylo zapotřebí žádné nápravné opatření.

Vibrace způsobené nevyvážeností, které vedou k nadměrným hlukovým emisím stroje se dají odstranit pouze vyvážením vřeten respektive pouze hlavního vřetene (viz. kapitola 3.6.).

Nadměrné hlukové emise ložisek se dají včasné predikovat správnou diagnostikou. Všeobecně platí, že čím vyšší otáčky rotoru, tím vyšší jsou i hlukové emise a pokud jsou ložiska poškozena, emise jsou ještě mnohem silnější. Tento efekt je na strojích INDEX V 160 C velice výrazný hlavně na vysokorychlostních vřetenech, které obrábí až 100 000 1/min. Hluk při 100 000 1/min má vysoký kmitočet 1666 Hz a při vysoké intenzitě je velice nepříjemný pro obsluhu stroje a může vést k bolestem hlavy, migrénám a žaludečním nevolnostem.

Hluk na hydraulických čerpadlech je nejčastěji způsoben kavitací. Tento hluk připomínající přesypání písku nebo šterku není pro obsluhu stroje natolik nepříjemný jako hluk, který vytváří poškozené vysokorychlostní vřeteno. Pro jeho odstranění stačí pouze vyměnit poškozené čerpadlo.



Obr. 8 TSI Ultraprobe 15000

### 3. PRAKTICKÁ ČÁST

#### 3.1. Výpočet hlavních zdrojů buzení

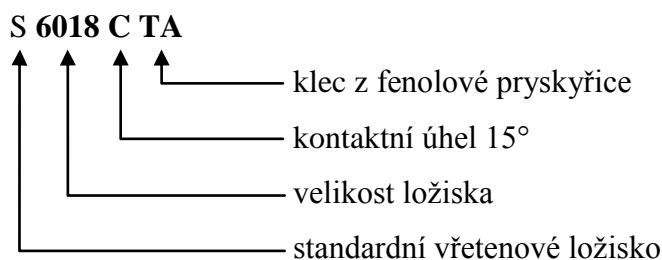
Zdroje buzení na strojích INDEX V 160 C jsou mechanické od výrobních či montážních úchylek, valivých ložisek, nebo od mechanického uvolnění.

Parametrické buzení je závislé na hmotnosti, tuhosti a poddajnosti celé soustavy respektive stroje. Toto buzení je eliminováno tandemovým uložením ložisek jak na hlavním tak na vysokorychlostním vřetení.

Dalšími zdroji buzení, které způsobují vibrace na strojích, jsou nevyváženost rotoru. Nesouosost hřídelů rovnoběžná nebo úhlová, ohnutý hřídel a vibrace od řemenových převodů.

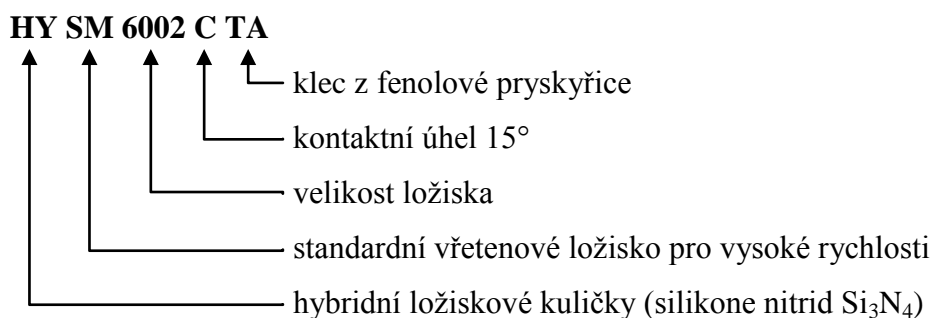
Hydrodynamické buzení způsobené poškozeným deublinem.

##### Parametry ložisek na hlavním vřetení:



Vnitřní průměr	$d=90$ mm
Vnější průměr	$D=140$ mm
Střední průměr	$d_s=115$ mm
Průměr tělíska	$d_0=15,081$ mm
Kontaktní úhel	$\alpha=15^\circ$
Počet valivých tělísek	$z=20$

##### Parametry ložisek na vysokorychlostním vřetení GMN vřetení:





Vnitřní průměr	$d=15 \text{ mm}$
Vnější průměr	$D=32\text{mm}$
Střední průměr	$d_s=23,5\text{mm}$
Průměr tělíska	$d_0=4,762 \text{ mm}$
Kontaktní úhel	$\alpha=15^\circ$
Počet valivých tělísek	$z=13$

Pro správnou analýzu jsou důležité budící frekvence:

### **Rotorová frekvence**

Hlavní vřeteno  $f_R = \frac{n}{60} = \frac{4000}{60} = 66,7 \text{ Hz}$

Vysokorychlostní vřeteno GMN  $f_{R1} = \frac{n}{60} = \frac{8000}{60} = 133,3 \text{ Hz}$

### **Frekvence vad vnějšího kroužku valivého ložiska**

Hlavní vřeteno  $f_o = \frac{z}{2} \cdot f_r \cdot (1 - \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 582 \text{ Hz}$

Vysokorychlostní vřeteno GMN  $f_o = \frac{z}{2} \cdot f_r \cdot (1 - \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 697 \text{ Hz}$

### **Frekvence vad vnitřního kroužku valivého ložiska**

Hlavní vřeteno  $f_i = \frac{z}{2} \cdot f_r \cdot (1 + \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 751 \text{ Hz}$

Vysokorychlostní vřeteno GMN  $f_i = \frac{z}{2} \cdot f_r \cdot (1 + \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 1036 \text{ Hz}$

### **Frekvence vad klece valivého ložiska**

Hlavní vřeteno  $f_k = \frac{1}{2} \cdot f_r \cdot (1 - \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 254 \text{ Hz}$

Vysokorychlostní vřeteno GMN  $f_k = \frac{1}{2} \cdot f_r \cdot (1 - \frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha) = 326 \text{ Hz}$

### **Frekvence vad tělesa valivého ložiska**

Hlavní vřeteno  $f_v = f_r \cdot \frac{d_s}{2d_0} \left[ 1 - (\frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha)^2 \right] = 29 \text{ Hz}$

Vysokorychlostní vřeteno GMN  $f_v = f_r \cdot \frac{d_s}{2d_0} \left[ 1 - (\frac{d_0}{d_s} \cdot \cos \alpha)^2 \right] = 53,6 \text{ Hz}$

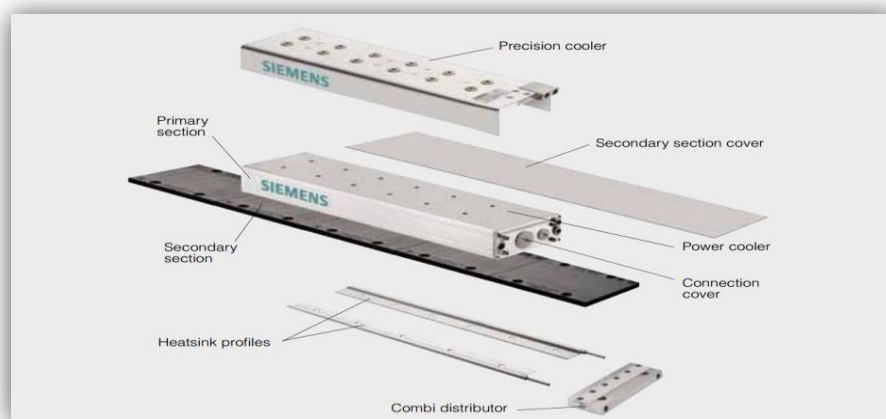
### **3.2. Návrh způsobu diagnostiky obráběcích strojů**

Pro samotnou diagnostiku obráběcích strojů bylo důležité určit si co, kde, na čem a čím je potřeba diagnostikovat. Tudíž jsem postupoval následovně. Nejprve jsem rozdělil stroje podle osazených diagnostikovaných vřeten na stroje s hlavním a vysokorychlostním vřetenem takzvané „excentry“ a na stroje pouze s hlavním vřetenem takzvané „centry“. Dalším důležitým bodem bylo určení měřicích bodů tedy nejbližších míst k ložiskům. Měřicí body jsem určil pomocí výkresové dokumentace a po konzultaci s výrobcí stroje a vysokorychlostních vřeten. Následně bylo zapotřebí rozhodnout, co je zapotřebí měřit. Na hlavním vřetenu jsem měřil efektivní hodnotu rychlosti vibrací (RMS) a frekvenční spektrum rychlosti. Pro diagnostiku ložisek na obou vřetenech jsem měřil vysokofrekvenční vibrace pomocí obálkové analýzy.

### **3.3. Posouzení konstrukčního uložení pohonů obráběcích strojů a rozbor dynamických poměrů náhonů obráběcích strojů**

Z hlediska konstrukčního uložení pohonů jsou stroje INDEX V160 C na vysoké úrovni. V porovnání s ostatními CNC stroji ve firmě Continental v Trutnově (Chiron DZ 15KW, Emag VL 3) nepoužívají pro posuv v ose X kuličkový šroub s maticí, ale lineární elektromotor. Hlavní nevýhodou kuličkového šroubu je jeho opotřebením vlivem zvětšení závitu a vůlí mezi maticí a šroubem, ze které plyne i jeho relativně nízká životnost. Lineární motor oproti kuličkovému šroubu nemá mechanickou vazbu mezi lineárním rotorem a statorem, což zvyšuje samotnou životnost pohonu a snižuje opotřebením pohonu. Opotřebením u kuličkového šroubu je způsobeno třecí valivou vazbou mezi kuličkami matice a závitem šroubu, který musí snášet velké zatížení a pohyb v konstantním rozsahu až v řádech deseti tisíců posuvů za den. Dalšími obrovskými výhodami lineárního elektromotoru jsou velmi nízká hlučnost, precizní polohování, vysoké rychlosti posuvů, výborné akcelerační a decelerační vlastnosti. Další velkou výhodou lineárního elektromotoru je, že při pohybu vznikají pouze minimální vibrace stroje způsobené spíše pohybem po lineárním vedení.

Stroje INDEX V 160 C se pohybují pouze ve dvou osách a to v ose X, u které jsem pohon popsal a porovnal již na začátku a v ose Z. Osa Z je polohována pomocí kuličkového šroubu a matice. Který má jak už jsem dříve zmínil své nevýhody, ale vzhledem k tomu, že v ose Z vykonává vřeteno relativně malý posuv oproti ose X, jsou tyto nevýhody přijatelné. U kuličkového šroubu je nevýhoda v tom, že mohou vlivem vůlí vzniknout vibrace způsobené přísuvem hlavního vřetene v ose Z obrobku proti nástroji.



Obr. 9 Lineární elektromotor Siemens 1FN3450-4WB00-0BA1

### 3.4. Vliv vibrací na jakost výroby

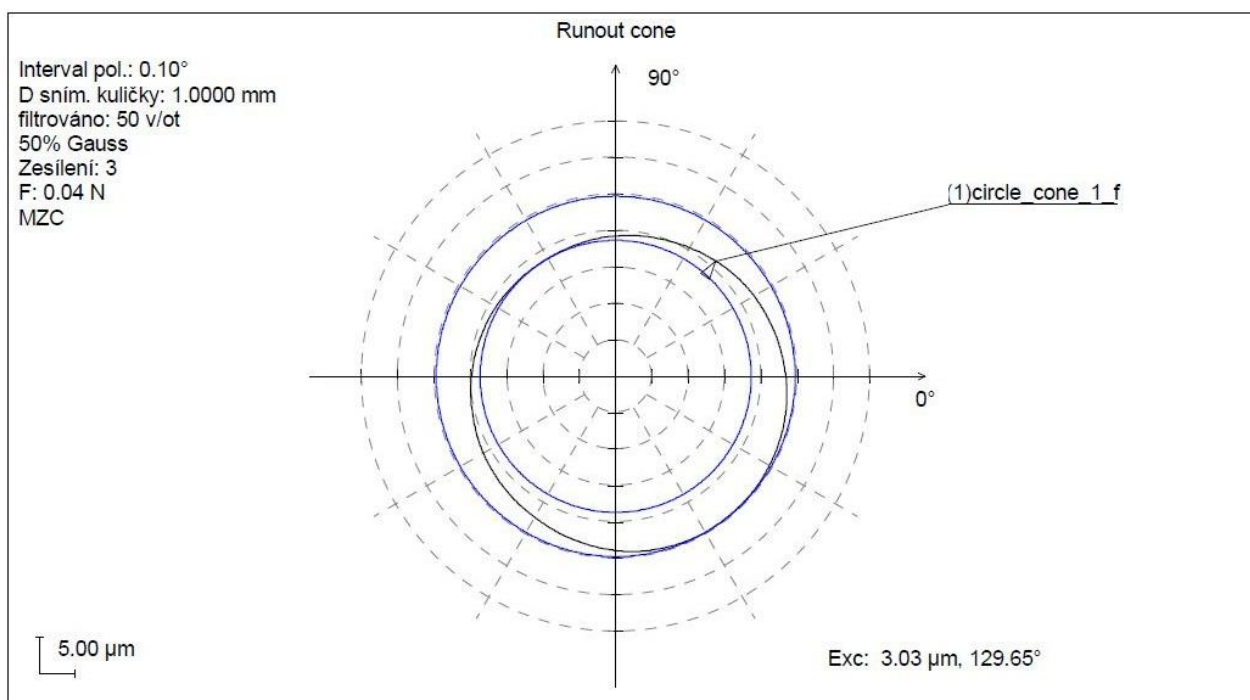
Vibrace mají velmi nepříznivý a nežádoucí vliv působící na jakost výroby. Projevují se snížením kvality obráběných dílů, zvýšeným opotřebením nástrojů a snížením životnosti stroje. Obrobené díly musí splňovat geometrické tolerance, tolerance drsnosti a rozměrové přesnosti. Obrobený rozměr musí tedy splňovat předepsaný rozměr, tvar a drsnost s předem určenými tolerancemi. Jednoznačně lze tedy říci, že jakost výrobku je dána souhrnem funkčních vlastností, spolehlivostí, vzhledem, životností a funkčností, pro kterou je daný výrobek určen. Z toho plyne i kvalita a životnost obráběcích nástrojů, které mají jen omezenou životnost při určité kvalitě obráběné plochy. Obecně platí, že vlivem vibrací se kvalita obráběné plochy snižuje. To je dáno cyklickými mikroskopickými změnami přísuvu nástroje vůči obrobku, které střídavě namáhá nástroj a zvyšuje jeho opotřebení. Velmi důležité je tak zvané první najetí nástroje do obrobku, kdy se síly působící na nástroj skokově mění a to při velkých vibracích může způsobit i zničení nástroje.

Pro stanovení kvality obráběných dílů jsem u každého diagnostikovaného stroje porovnával naměřené rozměry před a po vyvažování. Z těchto protokolů je zřetelně vidět zlepšení v náměrech na dílech po snížení nadměrných vibrací na stroji. Pro ukázkou jsem v diplomové práci uvedl pouze porovnání protokolu z jednoho stroje. Nejsilnější vibrace jsem naměřil na stroji GM-01, proto jsem protokol z tohoto stroje použil jako ukázkový. Na obrázku 10 je vidět náměr z náhodného obrobku před vyvážením a na obrázku 11 je tentýž náměr na jiném náhodném obrobku již po vyvážení. Porovnáním těchto dvou náměrů je zřetelně vidět zlepšení v geometrické toleranci hlavně házivosti, která klesla o přibližně 5,5  $\mu\text{m}$  a v kruhovitosti, která klesla 0,1  $\mu\text{m}$ , ale v toleranci 1  $\mu\text{m}$  je i toto snížení dobrým výsledkem (viz. Příloha 1 a 2).

Břítové destičky soustružnických nožů na strojích INDEX V 160 C vydrží obrobit přibližně 600 kusů, pokud je stroj v optimálním stavu a vibrace jsou v normě. Vlivem vibrací se může snížit životnost nástroje až o dvě třetiny a nadměrně zvýšit zmetkovitost obráběných dílů. Pro příklad jsem uvedl pouze porovnání vlivu vibrací na jeden typ nejpoužívanějšího nástroje (viz. tabulka 2). Tato data jsem získal ze stroje GM-09 kde se vlivem vibrací snížila životnost břitových destiček na přibližných 220 kusů za směnu na jednu břitovou destičku.

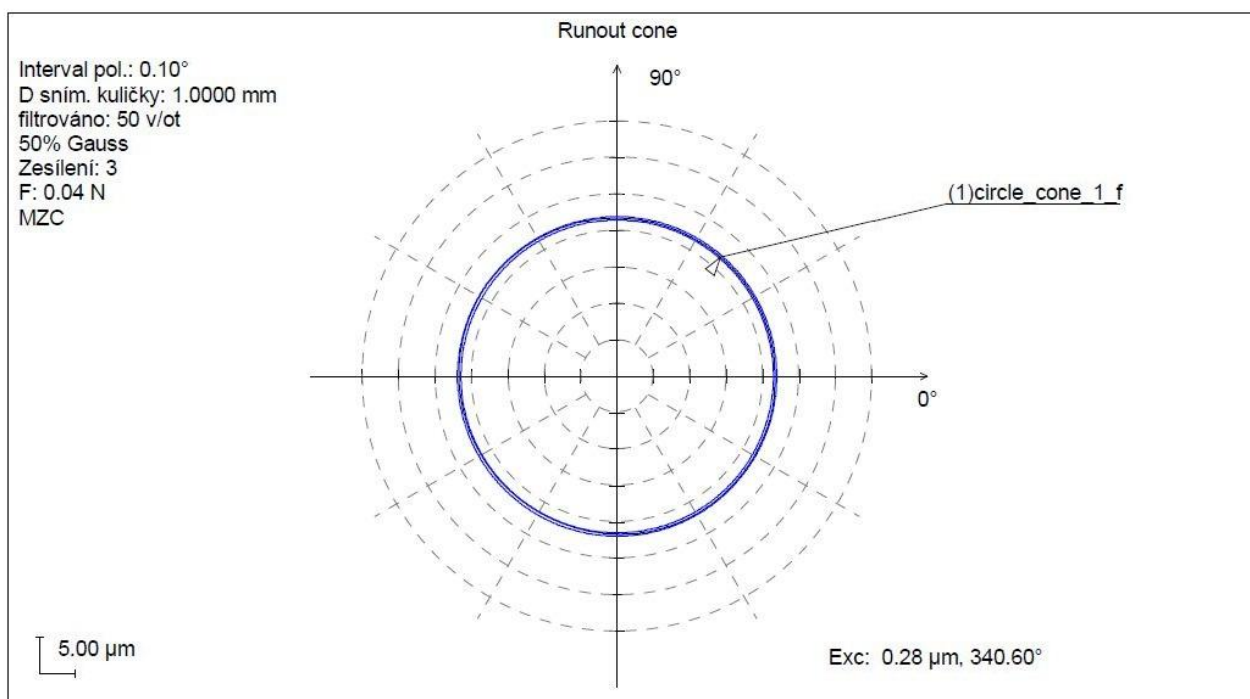
Tab. 2 Srovnání vlivu vibrací na opotřebení břitových destiček soustružnických nožů

	Počet břitových destiček za dvanáctihodinovou směnu jednoho stroje	Počet obrobených kusů za směnu (12 h)
Normální fáze stroje	1,1-1,3	720
Fáze poškození stroje	2,75-2,9	



Feature	Type	Datum	Tol. [μm]	Dev. [μm]
C28 Radial runout		Axis G	20,000	6,048

Obr. 10 Výřez z protokolu před vyvážením



Feature	Type	Datum	Tol. [μm]	Dev. [μm]
C28 Radial runout		Axis G	20,000	0,449

Obr. 11 Výřez z protokolu po vyvážení

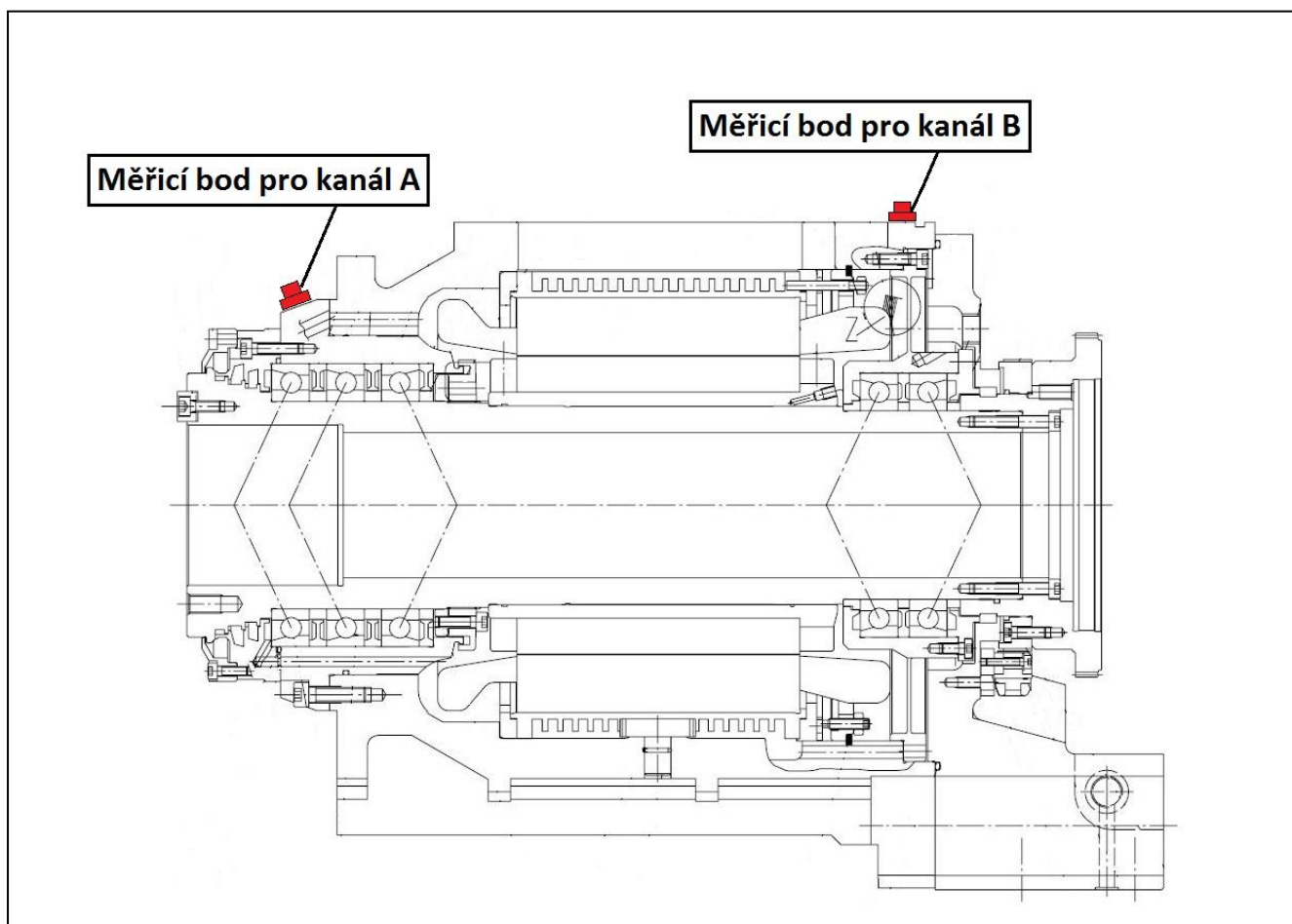
### **3.5. Návrh a výběr metody technické diagnostiky obráběcích strojů a valivých ložisek vřeten**

Diagnostika a zároveň prediktivní údržba strojů a ložisek obráběcích vřeten je účinnou metodou jak snížit náklady na údržbu, sklad náhradních dílů a snížení náhlých poruch stroje. Již americká studie z roku 2008 prokázala, že při preventivní údržbě výměny ložisek bylo pouhých 5% ložisek natolik poškozených, aby došlo k poruše stroje. U třetiny ložisek nebylo viditelné fyzické poškození. Dvě třetiny ložisek indikovaly malé poškození. Jedna polovina z této skupiny byla málo promazána nebo znečištěna a druhá polovina byla opotřebovaná vlivem nevyváženosti, nesouososti nebo nesprávné montáže. Z toho vyplývá, že preventivní údržba je účinnou, ale poměrně nákladnou údržbou a na dnešní dobu již poněkud nedostačující.

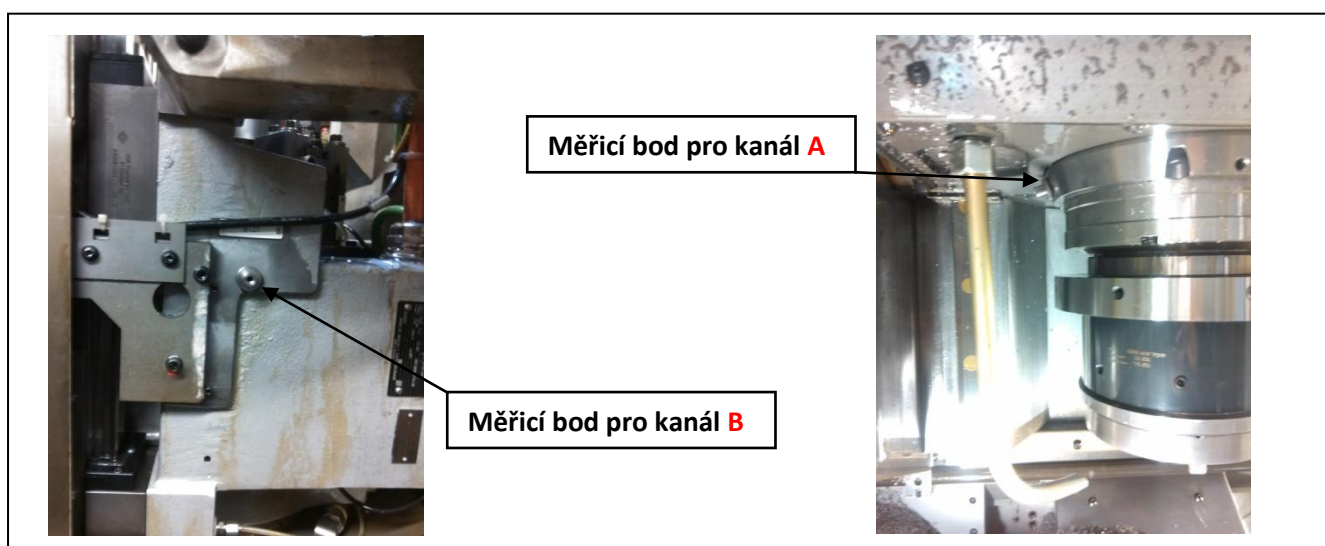
Vzhledem k tomu, že stroje INDEX V 160 C jsou provozovány již od roku 2010 v nepřetržitém provozu, stoupá jejich náchylnost na náhlou poruchu výrazně namáhaných a opotřebitelných dílů. Tudíž je nejvyšší čas začít diagnostikovat a sledovat náchylná místa na opotřebení stroje.

Jak už jsem se na začátku této práce zmínil, stroje INDEX V 160 C se ve firmě Continental v Trutnově liší svým obráběcím prostorem a upínací hlavou obrobku dle typů výroby. Proto jsem na každém stroji určil diagnostické body dle normy ISO 10816 na hlavních vřetenech a přídavných vysokorychlostních brousicích vřetenech od firmy GMN pro diagnostiku ložisek.

Stroje INDEX V 160 C mají všechna hlavní vřetena stejná. Liší se pouze upínací hlavou a počtem vyvažovacích rovin na hlavním vřetenu. Z tohoto důvodu jsem měřicí body ložisek na hlavním vřetenu určil pro všech třináct strojů na stejném místě také kvůli možnosti porovnání stavu ložisek mezi jednotlivými stroji. Vycházel jsem ze zástavbových prostorů stroje a možností umístění akcelerometrů. Zároveň jsem musel brát v úvahu konstrukci hlavního vřetene a umístění ložisek, což je lépe vidět na obrázku 12, 13. Pro zvýšení opakovatelnosti a snížení subjektivity měření na jednotlivých strojích jsem na hlavní vřetena nalepil měřicí suky (viz. obrázek 13). Tyto suky jsem nalepil na přesně určené místo pomocí kyanoakrylátového lepidla VEVAFIX 496.



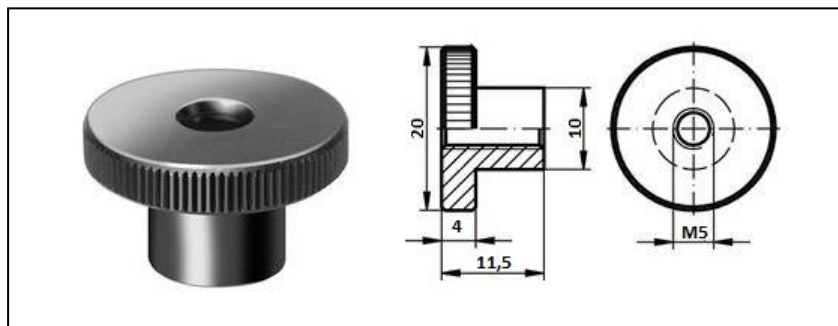
Obr. 12 Výkres hlavního vřetene s umístěním měřicích bodů



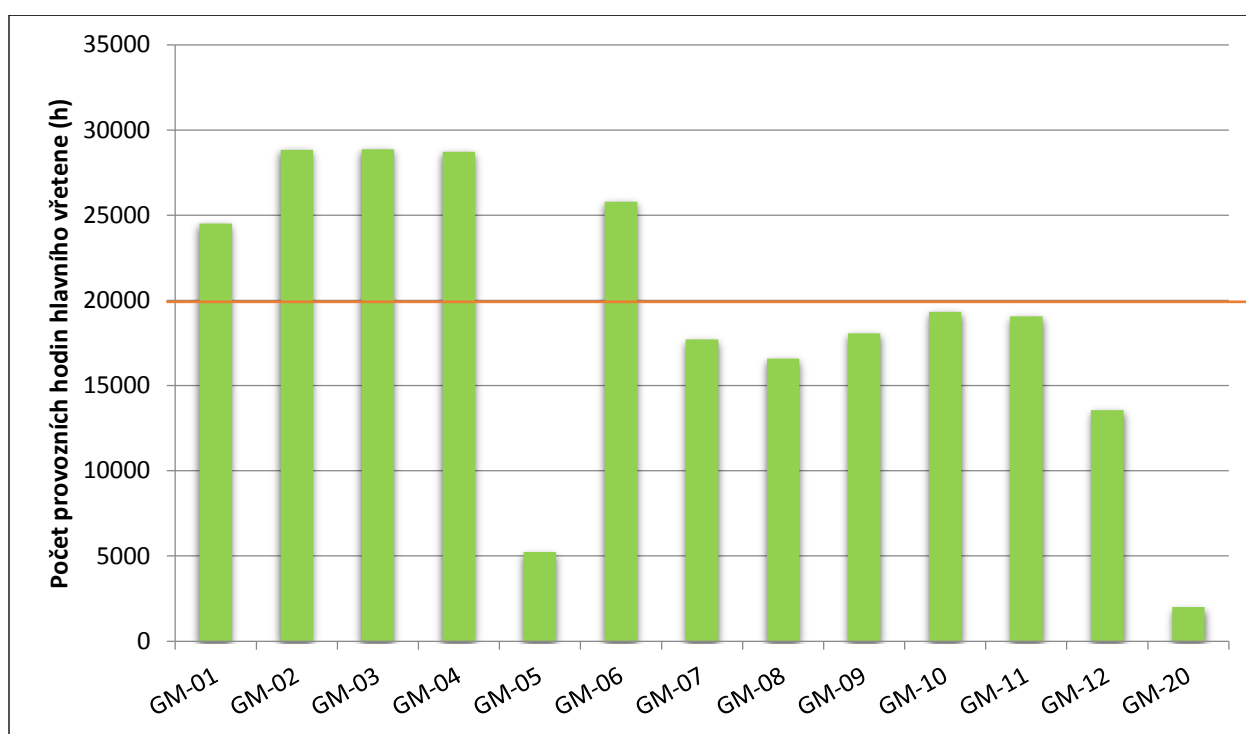
Obr. 13 Umístění měřicích bodů na hlavním vřetenu

Pro nastavení plánů prediktivní údržby jsem navrhl tří měsíční kontrolní interval měření na všech strojích. K tomuto intervalu jsem došel po konzultaci se specialisty na plánování údržby a z vlastních zkušeností, které jsem vytvořením této práce získal. Zároveň jsem vycházel z provozních hodin a životností hlavních vřeten,

kteře jsou 2000 h (viz. Obr 15). Tento interval byl rovněž zařazen do plánů údržby pro stroje INDEX V 160 C. Kontrolním měřením po každých třech měsících lze interval měření buď zkrátit, nebo prodloužit podle toho k jak velké změně při měřicích intervalech dojde.



Obr. 14 Měřicí suk pro ustavení snímačů



Obr. 15 Graf provozních hodin hlavních vřeten na jednotlivých strojích

Na druhém vysokorychlostním vřetení firmy GMN jsem měřicí body určil podle výkresu a po domluvě s firmou, kterou jsem osobně v Německu navštívil a probral tuto problematiku přímo s techniky. Tato vřetena se nachází pouze na šesti strojích GM-01, GM-02, GM-03, GM-10, GM-11, GM-12 a na stroji GM-20 jsou dvě vysokorychlostní vřetena.



Postup měření a diagnostiky ložisek na hlavním vřetení:

- 1) Nejprve zastavit stroj pomocí tlačítka konec cyklu
- 2) Otevřít přední dveře a upevnit kus do hlavního vřetene
- 3) Otevřít zadní dveře a zasunout bezpečnostní vidličku do koncového spínače zadních dveří
- 4) Upevnit akcelerometry na měřicí body (A-dole, B-nahoře)
- 5) Vložit bezpečnostní vidličku do koncového spínače předních dveří
- 6) Nalepit na hlavní vřeteno reflexní značku a upevnit laserový snímač otáček
- 7) Připojit přístroj SCHENCK SmartBalancer
- 8) Spustit hlavní vřeteno v modu „Ovládání jednotek“ na 4000 1/min
- 9) Spustit měření RMS
- 10) Spustit měření rychlostní frekvenční analýzy
- 1) Spustit obálkovou analýzu pro kanál A
- 11) Spustit obálkovou analýzu pro kanál B
- 12) Zastavit vřeteno, odpojit snímače, vyndat vidličky a kus

### **3.5.1. GM-01, GM-02, GM-03, GM-10, GM-11, GM-12**

Na těchto strojích jsou vysokorychlostní vřetena typu HSX 100 – 105000/2 vždy po jednom kusu. Tato vřetena mají maximální otáčky 105000 1/min a výkon při těchto otáčkách 2 kW. Firma GMN měří a vyvažuje svá vřetena při 8000 1/min, proto jsem tyto otáčky zvolil i jako kontrolní při diagnostice ložisek. Pro samotnou diagnostiku bylo zapotřebí upevnit rovněž měřicí suky stejně jako na hlavním vřetenu do radiální roviny na každém ložisku (viz. Obr. 15).

Postup měření a diagnostiky ložisek vysokorychlostních vřeten:

- 1) Nejprve zastavit stroj pomocí tlačítka konec cyklu
- 2) Upevnit akcelerometry na měřicí body (A-nahoře, B-dole)
- 3) Zasunout bezpečnostní vidličku do koncového spínače předních dveří
- 4) Připojit přístroj SCHENCK SmartBalancer

5) Na ovládacím panelu zvolit soft klávesu

„samostatná sekvence“ → „MDI ruční zadávání“ →

zapsat program:

M6=3 S6=8000

G4 F600

M17

→ „MDI KAN1 vykonat“

6) Spustit program

7) Spustit měření rychlostní frekvenční analýzy

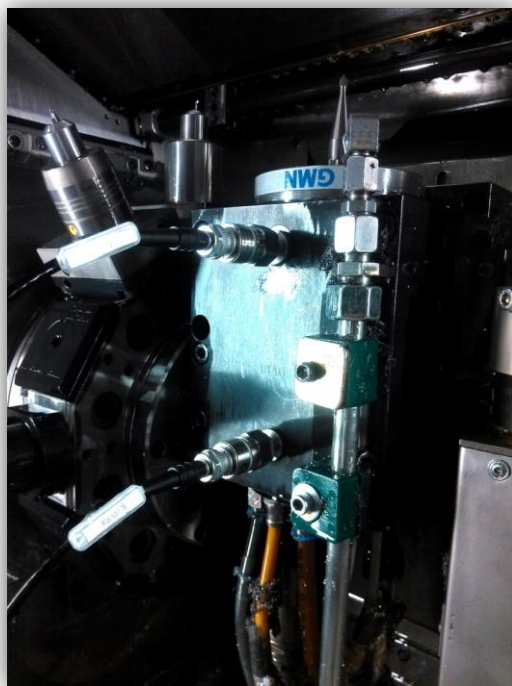
8) Spustit obálkovou analýzu pro kanál A

9) Spustit obálkovou analýzu pro kanál B

10) Zastavit vřeteno a smazat program

11) Odpojit snímače a vytáhnout bezpečnostní snímače

Samotné měření i se zapojením zabere maximálně deset minut, což je z hlediska časového zatížení výroby zanedbatelné. Z tohoto důvodu jsem navrhnul interval měření na GMN vřetenech jednou za čtrnáct dní vždy v pondělí kdy je naplánovaná rovněž i týdenní údržba na strojích.



Obr. 16 Umístění měřicích bodů na vysokorychlostním vřetenu GMN

### 3.5.2. GM-20

Na stroji GM-20 jsou dvě vysokorychlostní vřetena typu HSX 100 – 90000/3. Toto vřeteno má maximální otáčky 90000 1/min a výkon při těchto otáčkách 3 kW. Stroj GM-20 nejmladší ve firmě Continental v Trutnově, tudíž je i v záruce, a proto jsem nemohl nijak zasahovat do konstrukce stroje. Tudíž jsem na tyto vřetena nelepil měřicí suky, ale měřil je pouze pomocí magnetických úchytů. Vzhledem k tomu, že se na tomto stroji obrábí minimum dílů a výroba se zde pouze „rozjíždí“ je za těchto podmínek zbytečné měřit ložisko tak často jako na ostatních strojích. Tudíž se tato vřetena budou měřit pouze jednou za měsíc a se zvyšující se výrobou se zvýší i interval měření.

Pro každé vřeteno ať už HSX 100 – 105000/2 nebo HSX 100 – 90000/3 bude postupem času a následným měřením vytvářen trend naměřených hodnot. Z tohoto trendu bude přímo vidět zhoršení stavu ložisek na vřetenu.

## 3.6. Návrh metody měření vibrací a způsob analýzy provedených měření na obráběcích strojích

Jak už jsem v předchozích kapitolách uvedl ve firmě Continental v Trutnově je třináct strojů INDEX V 160 C. Na strojích jsem měřil vibrace strojů před a po snížení vibrací. Nejprve hodnotu RMS  $v_{eff}$  a následně frekvenční spektrum hlavního vřetene na obou ložiskách (kanálech) zároveň. Po změření těchto hodnot jsem nejprve určil, v jaké oblasti širokopásmových vibrací normy ISO 10816 se stroj nachází, respektive jaká je mezní hranice pásma pro daný stroj. Poté jsem podle frekvenčního spektra určil jaký je hlavní typ buzení vibrací na daném stroji a snažil se ho odstranit.

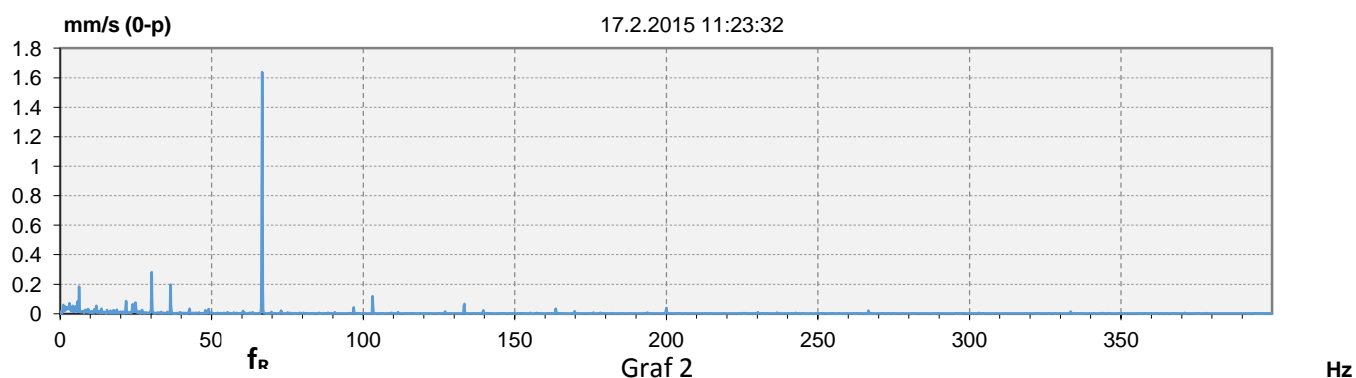
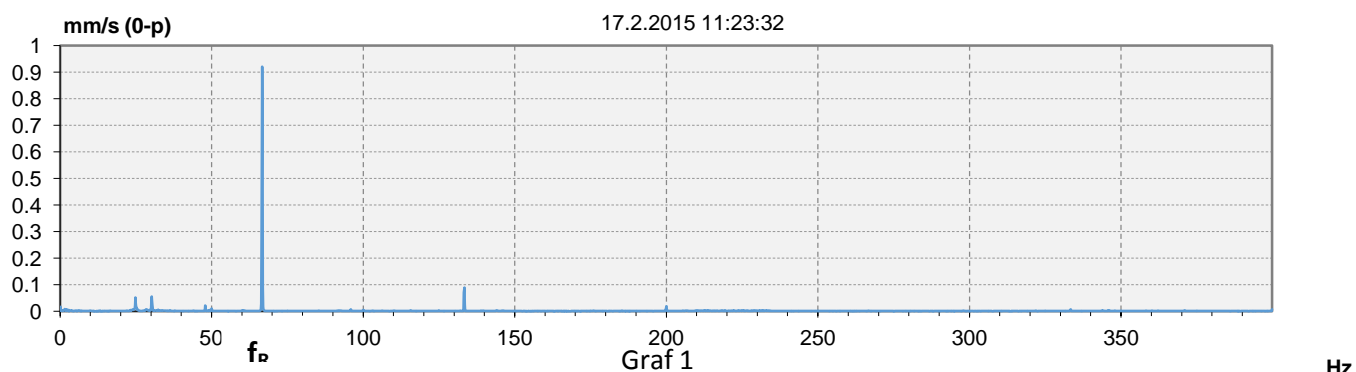
### 3.6.1. Měření na GM-01, GM-02, GM-03

Stroje GM-01 až GM-03 jsou osazeny dvěma diagnostikovanými vřeteny (hlavním a vysokorychlostním od firmy GMN). Postup měření a diagnostika na vysokorychlostním vřetenu jsem již popsal v kapitole 3.6. Pro měření na hlavním vřetenu bylo nejprve zapotřebí určit umístění ložisek (viz. kapitola 3.5.) a vyvažovací roviny na upínací hlavě vřetene. Zde je jedna vyvažovací rovina o poloměru 102 mm s 16 závitovými otvory M8. Po určení

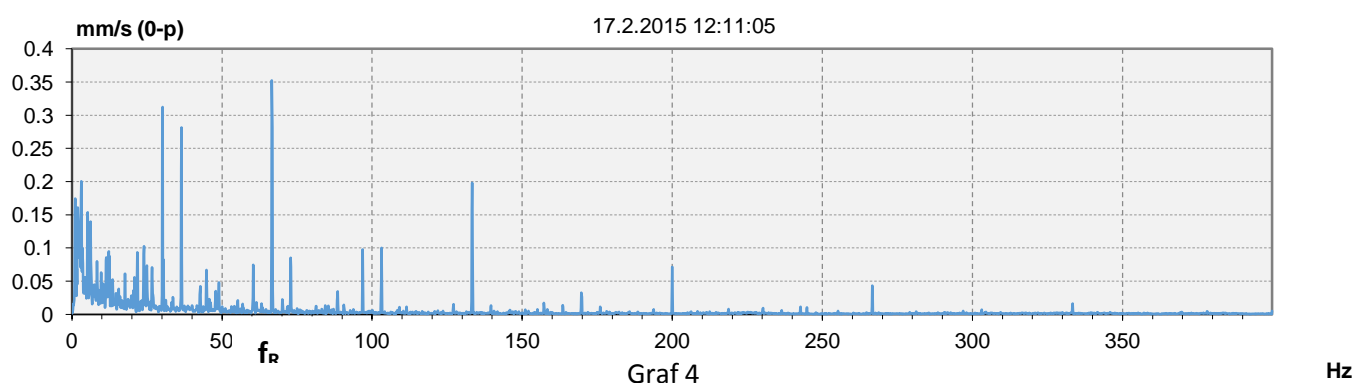
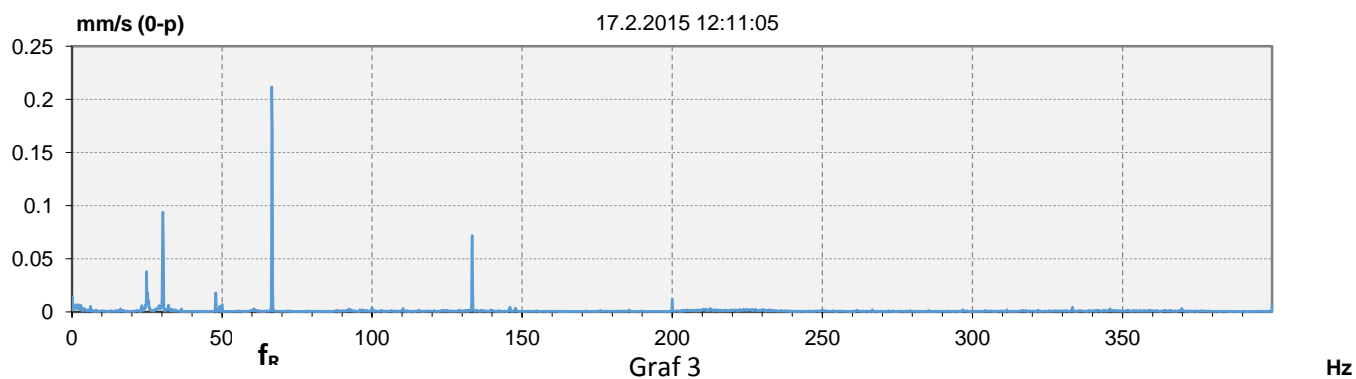
těchto parametrů jsem připojil vibrodiagnostické zařízení stejně jako při diagnostice ložisek a spustil stroj.

### 3.6.1.1. GM-01

Stroj GM-01 vykazoval velkou nevývahu na hlavním vřetenu (viz. Graf 1, Graf 2) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 1,480 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,743 mm/s (viz. příloha 1 a 2). Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,250 mm/s (horní ložisko) a 0,427 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 3, Graf 4).



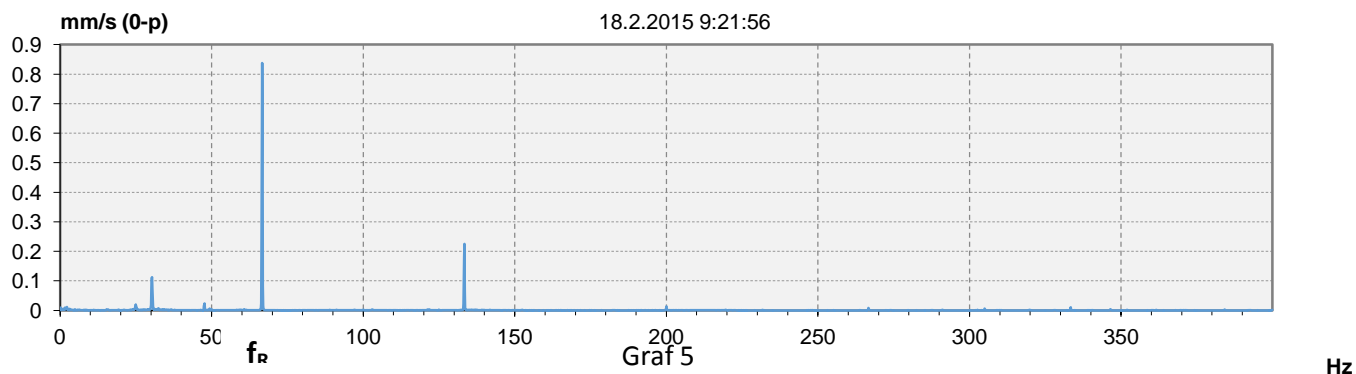
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 1 - horní ložisko, Graf 2 - dolní ložisko)

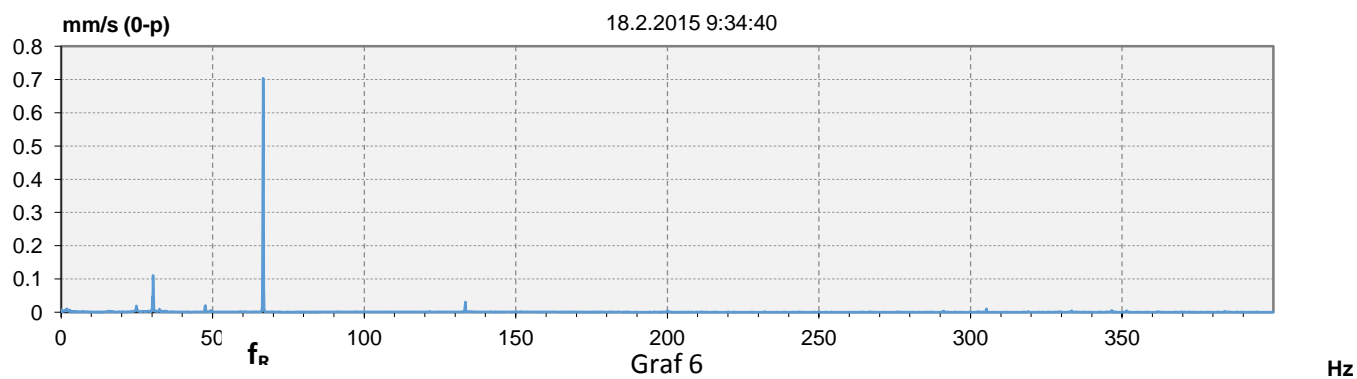


Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 3 - horní ložisko, Graf 4 - dolní ložisko)

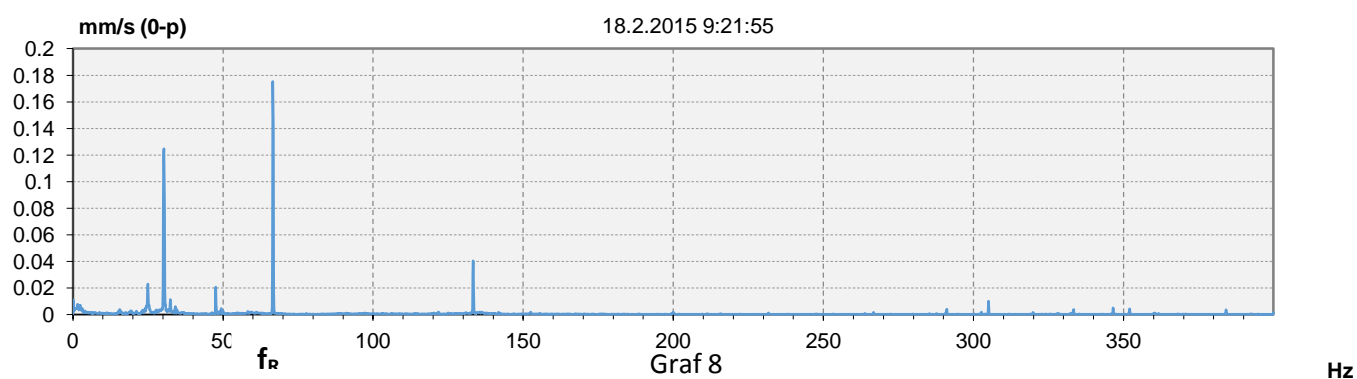
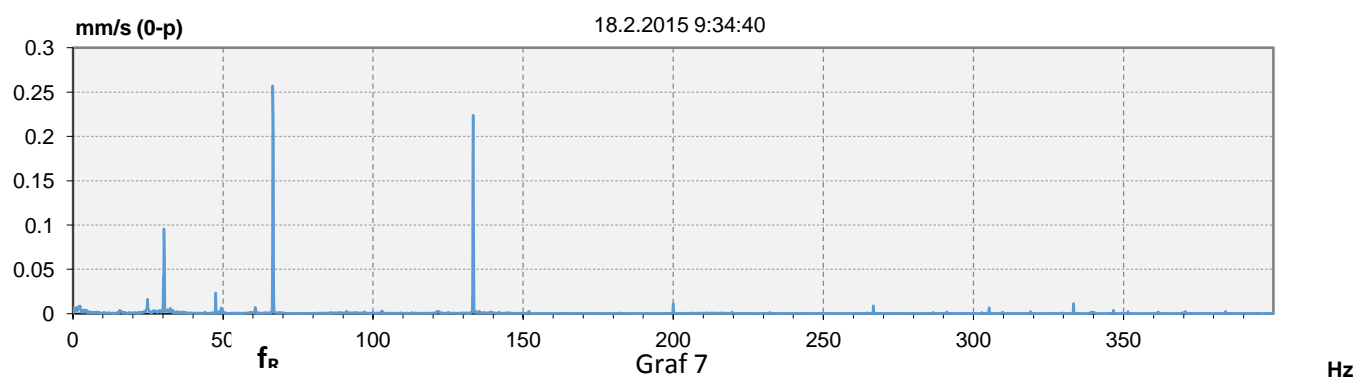
### 3.6.1.2. GM-02

Na stroji GM-02 jsem naměřil frekvenční spektrum, které vykazovalo nevývahu na hlavním vřetenu (viz. Graf 5, Graf 6) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,657 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,167 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,255 mm/s (horní ložisko) a 0,153 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 7, Graf 8).





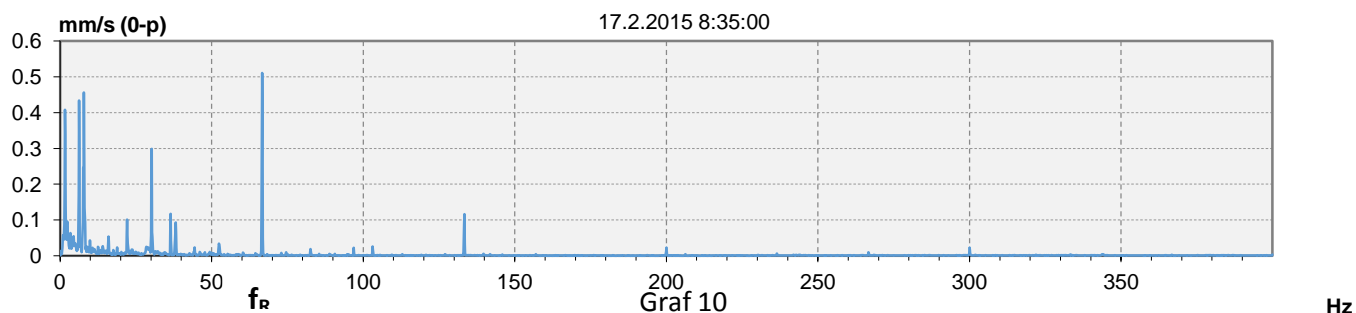
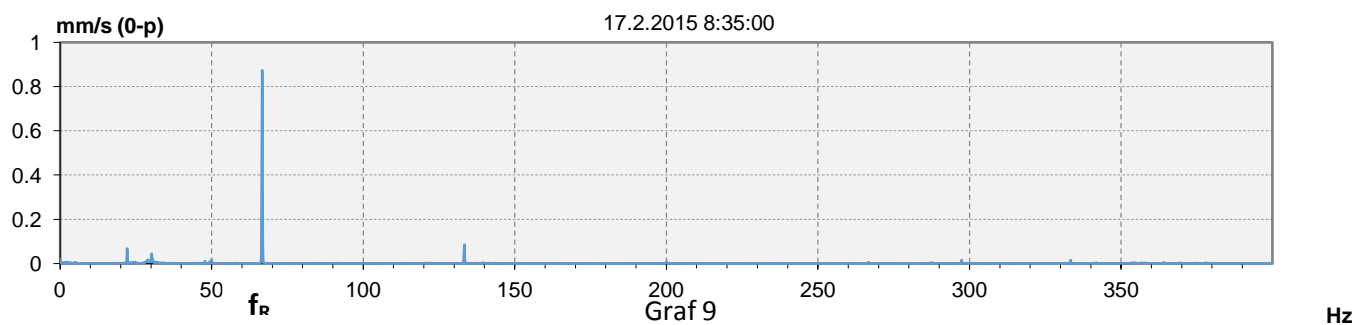
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 5 - horní ložisko, Graf 6 - dolní ložisko)



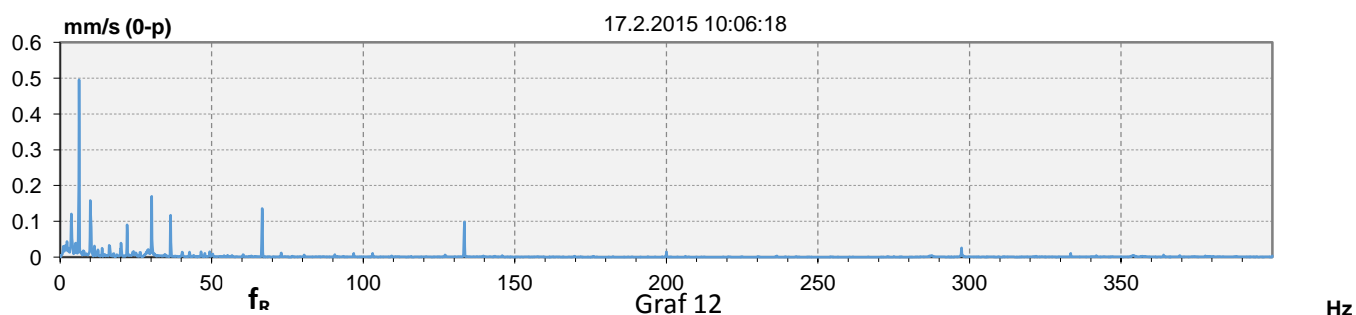
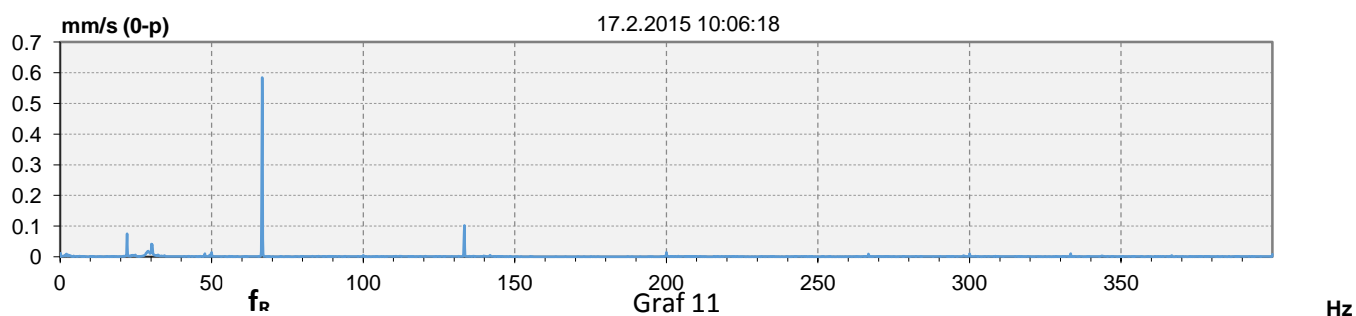
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 7 - horní ložisko, Graf 8 - dolní ložisko)

### 3.6.1.3. GM-03

Zde se jednalo o středně velkou nevývahu na hlavním vřetenu (viz. Graf 9, Graf 10) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,705 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,467 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,357 mm/s (horní ložisko) a 0,411 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 11, Graf 12).



Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 9 - horní ložisko, Graf 10 - dolní ložisko)



Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 11 - horní ložisko, Graf 12 - dolní ložisko)

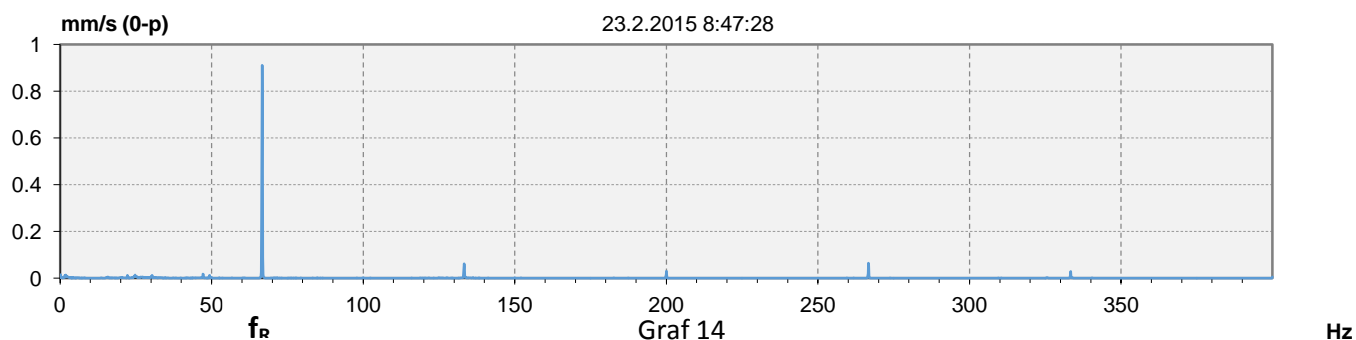
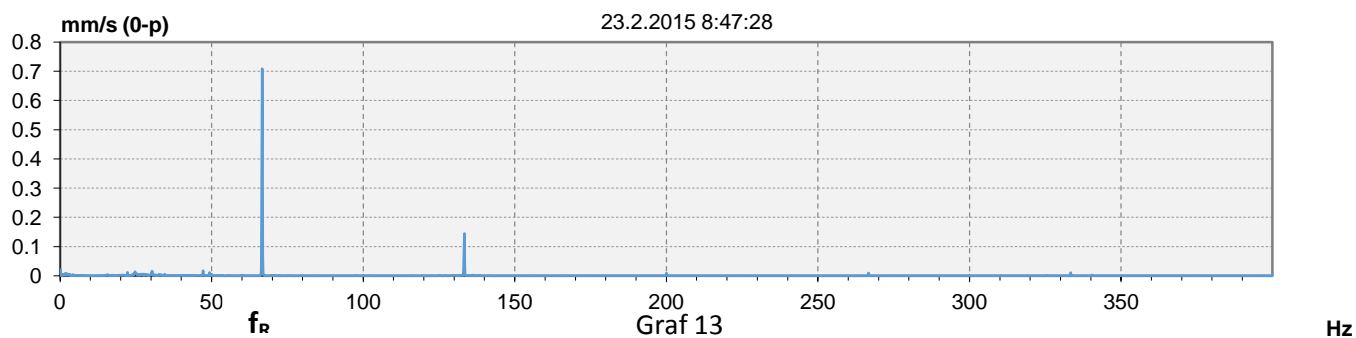
### 3.6.2. Měření na GM-04, GM-05, GM-06, GM-07, GM-08, GM-09

Tyto takzvané „centry“ jak jsou označovány zaměstnanci ve firmě Continental v Trutnově jsou osazeny pouze jedním diagnostikovaným vřetenem a to hlavním. Pro měření na hlavním vřetenu bylo rovněž zapotřebí nejprve určit umístění ložisek (viz. kapitola 3.5.) a vyvažovací roviny na upínací hlavě vřetene. Upínací hlava má umístěny dvě vyvažovací roviny o

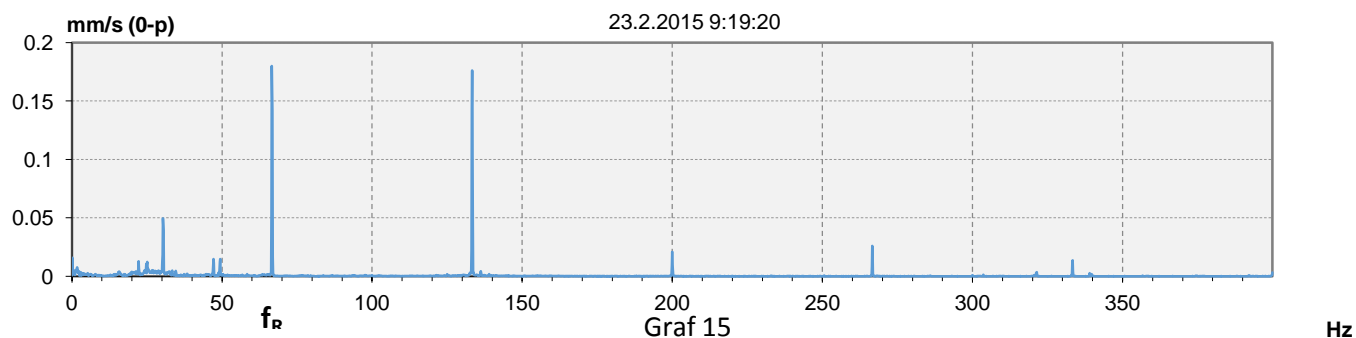
poloměrech 72,5 mm s 91,5 mm s 8 závitovými otvory M8. Po určení těchto parametrů jsem připojil vibrodiagnostické zařízení stejně jako při diagnostice ložisek a spustil stroj.

### 3.6.2.1. GM-04

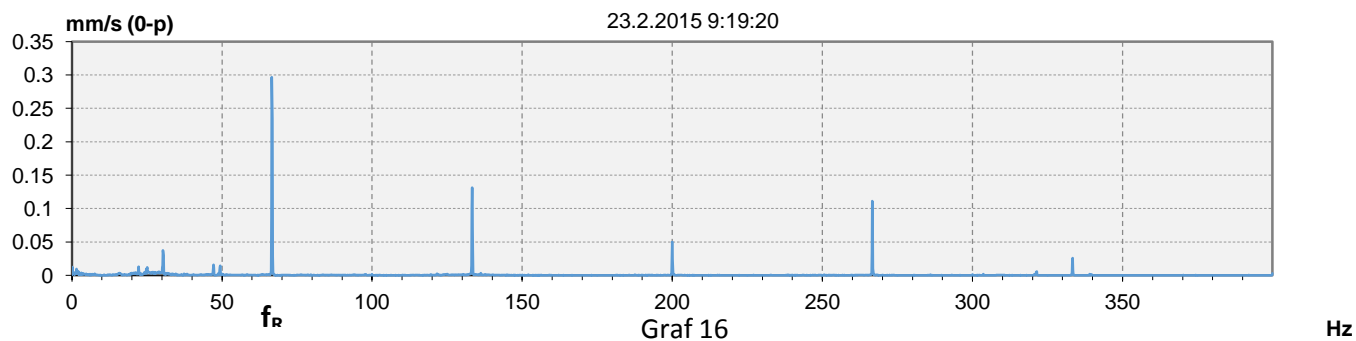
Stroj GM-04 vykazoval rovněž středně velkou nevývahu (viz. Graf 13, Graf 14) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,546 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,726 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,179 mm/s (horní ložisko) a 0,240 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 15, Graf 16).



Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 13 - horní ložisko, Graf 14 - dolní ložisko)



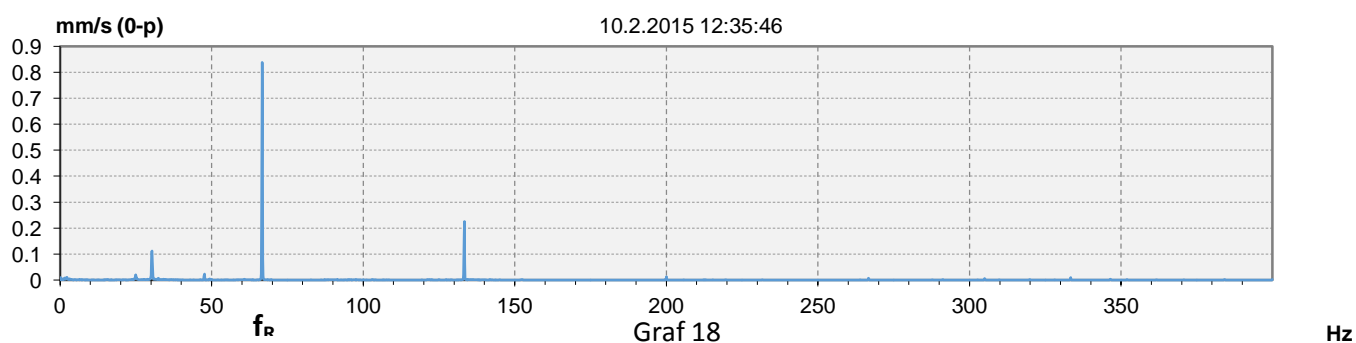
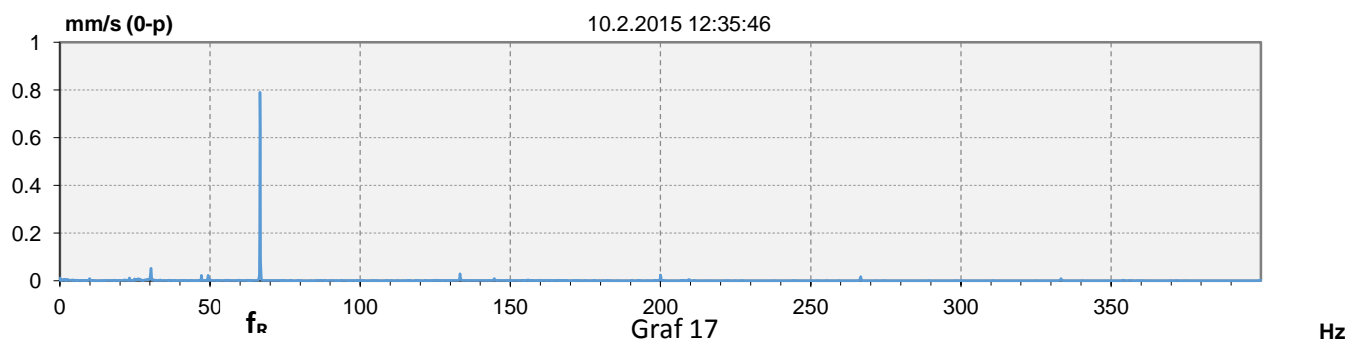




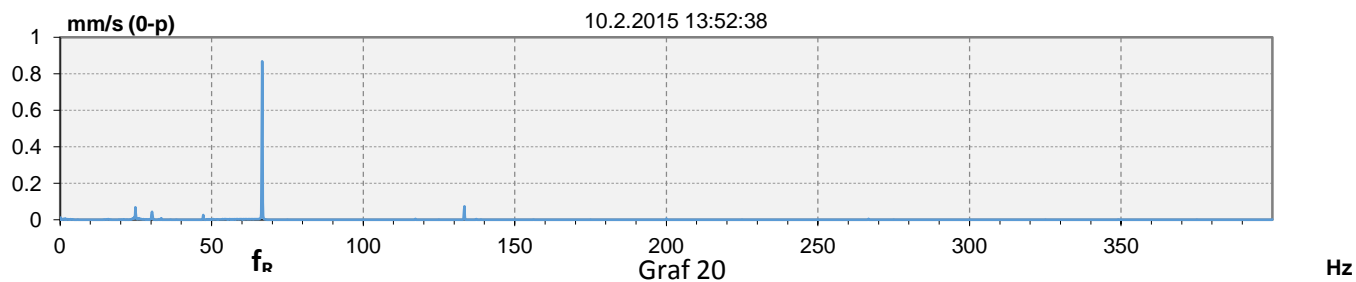
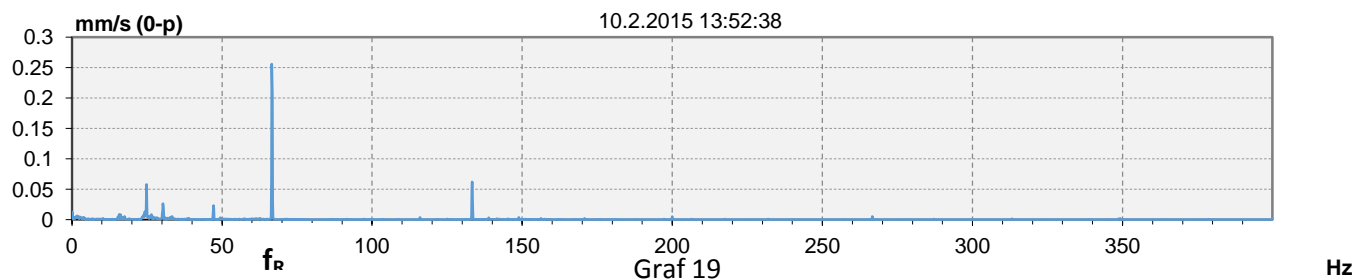
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 15 - horní ložisko, Graf 16 - dolní ložisko)

### 3.6.2.2. GM-05

I stroj GM-05 vykazoval pouze střední nevyváženost (viz. Graf 17, Graf 18) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,602 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,605 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,259 mm/s (horní ložisko) a 0,518 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 19, Graf 20).



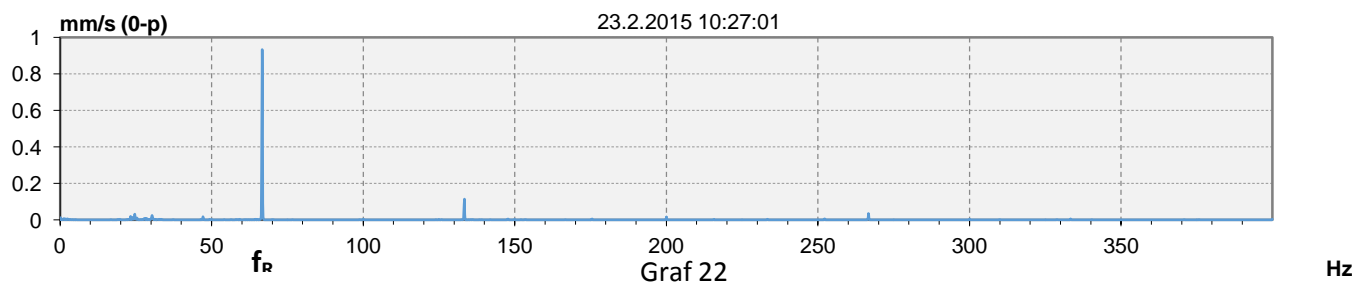
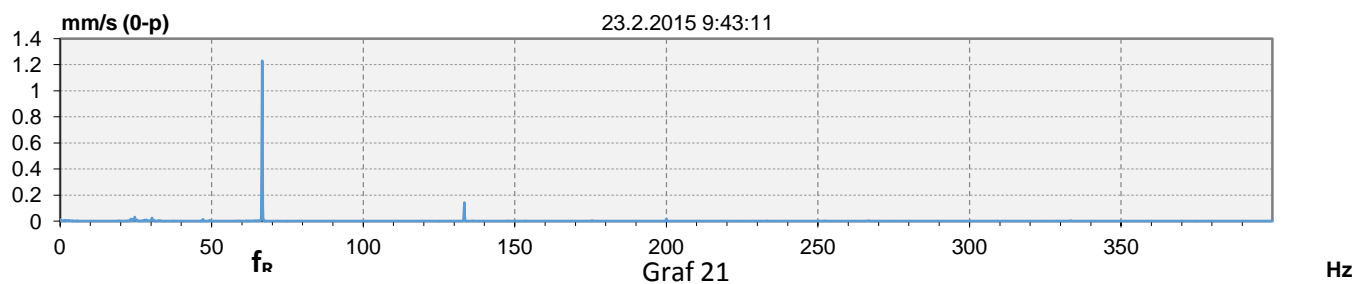
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 17 - horní ložisko, Graf 18 - dolní ložisko)



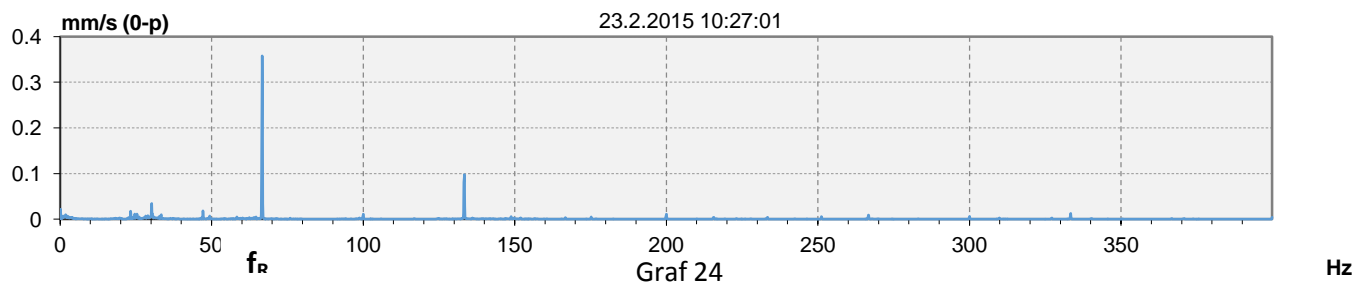
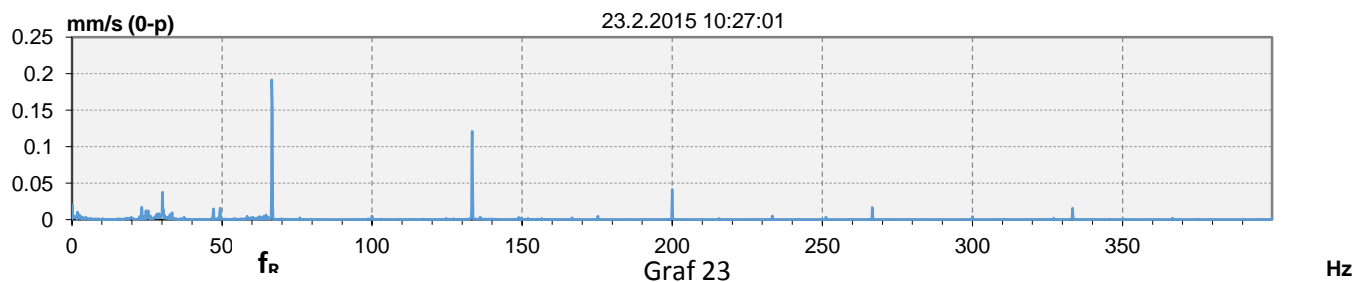
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 19 - horní ložisko, Graf 20 - dolní ložisko)

### 3.6.2.3. GM-06

Stroj GM-06 vykazoval velkou nevyváženost hlavního vřetene (viz. Graf 21, Graf 22) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,916 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,704 mm/s. Pouhým přidáním tří orovnávacích trnů na hlavě vřetene místo jednoho původního se snížily vibrace na následující hodnoty. RMS na 0,214 mm/s (horní ložisko) a 0,333 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 23, Graf 24).



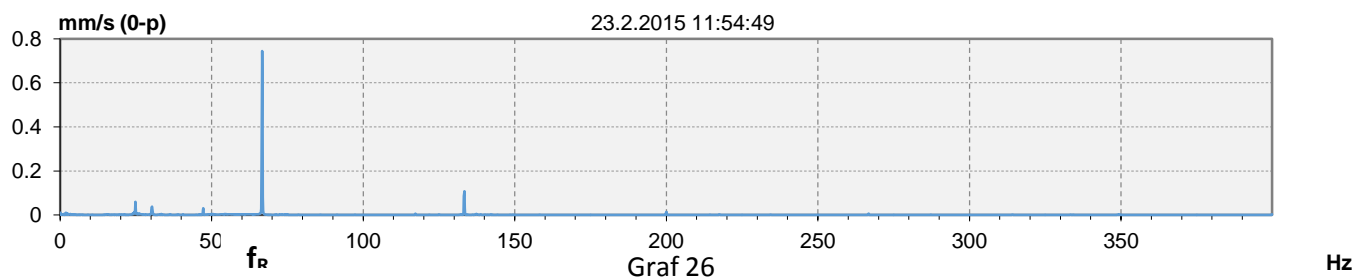
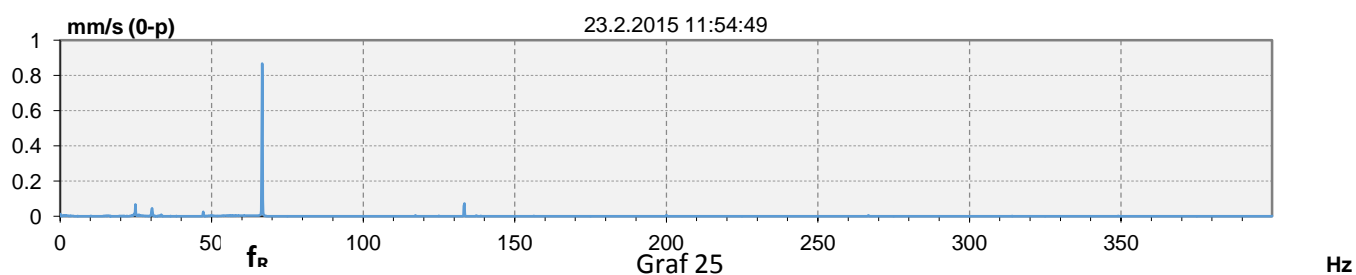
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 21 - horní ložisko, Graf 22 - dolní ložisko)



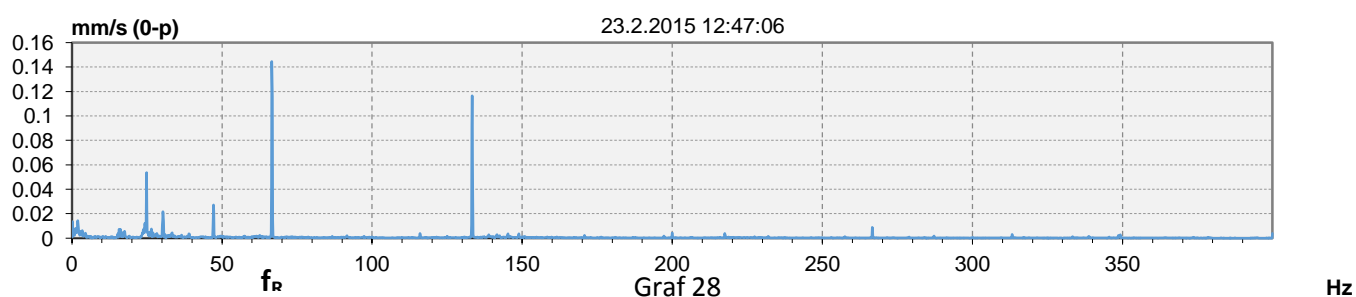
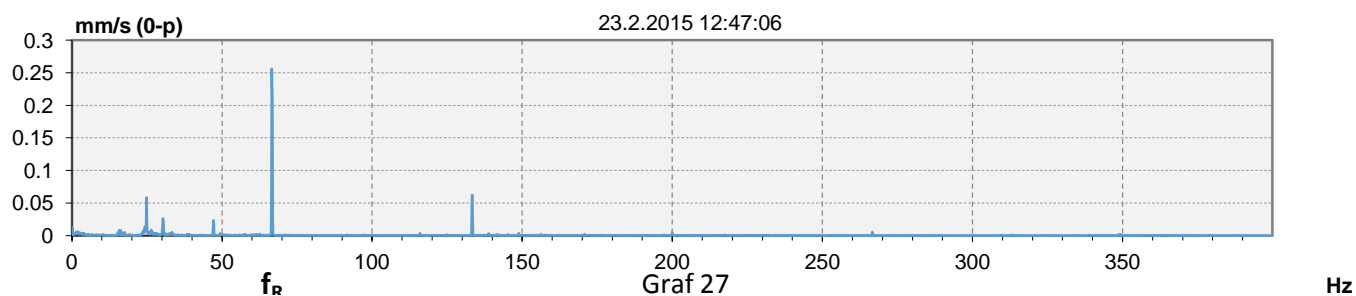
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 23 - horní ložisko, Graf 24 - dolní ložisko)

#### 3.6.2.4. GM-07

Frekvenční spektrum na stroji GM-07 vykazovalo středně velkou nevyváženost (viz. Graf 25, Graf 26) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,618 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,538 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,216 mm/s (horní ložisko) a 0,166 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 26, Graf 27).



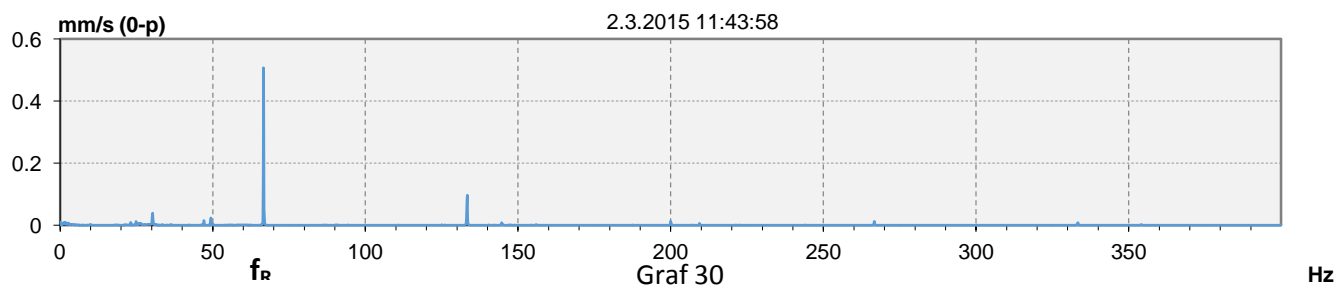
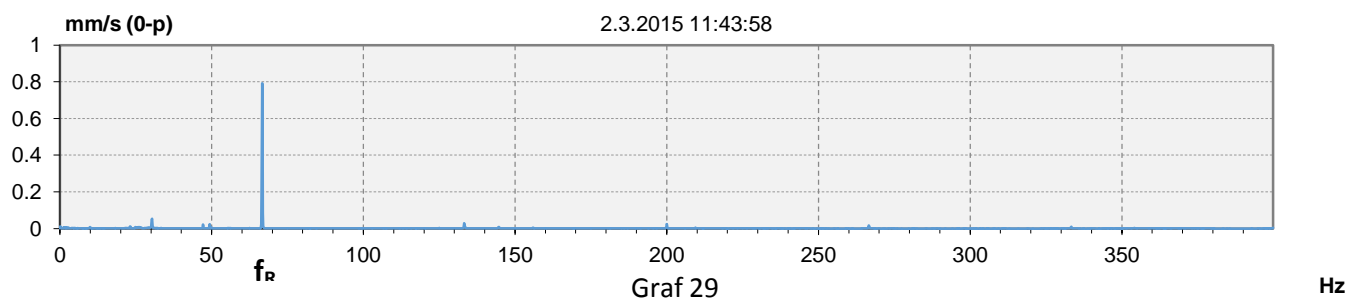
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 25 - horní ložisko, Graf 26 - dolní ložisko)



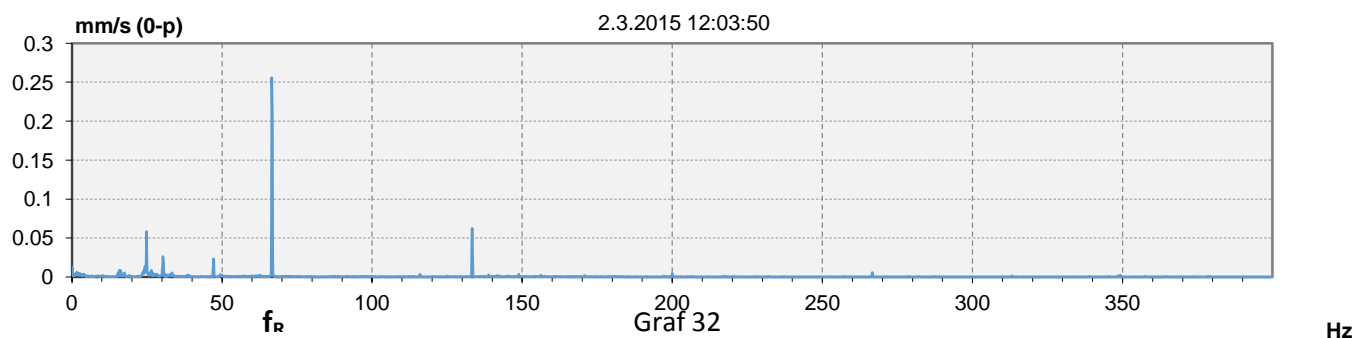
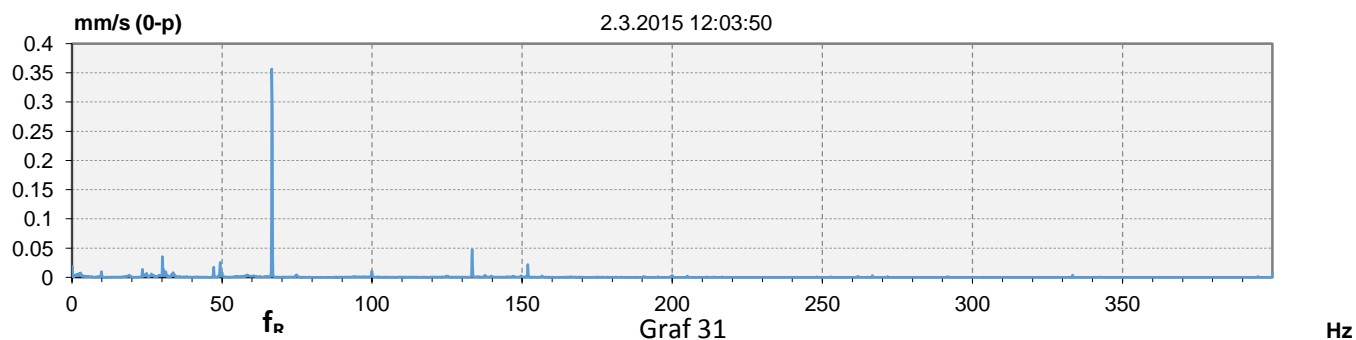
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 27 - horní ložisko, Graf 28 - dolní ložisko)

### 3.6.2.5. GM-08

Zde se jednalo rovněž o střední nevyváženost (viz. Graf 29, Graf 30) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,605 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,421 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,335 mm/s (horní ložisko) a 0,241 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 31, Graf 32).



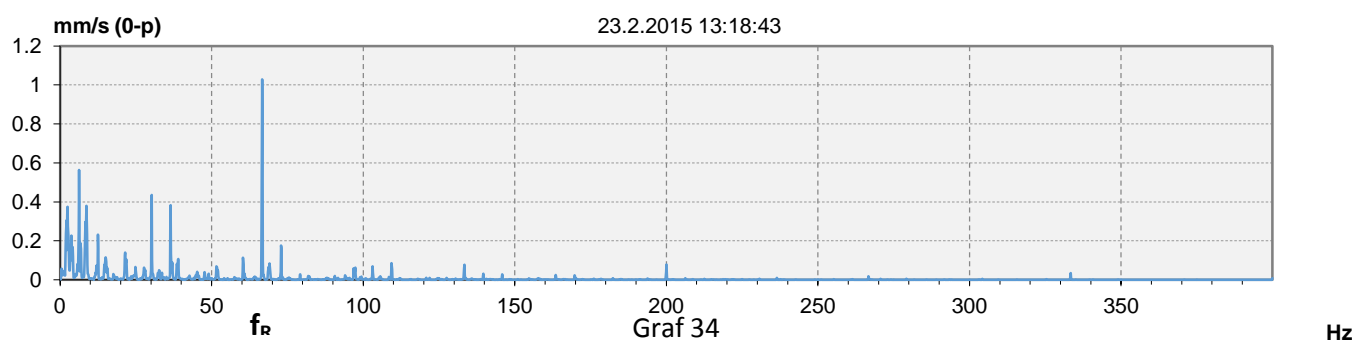
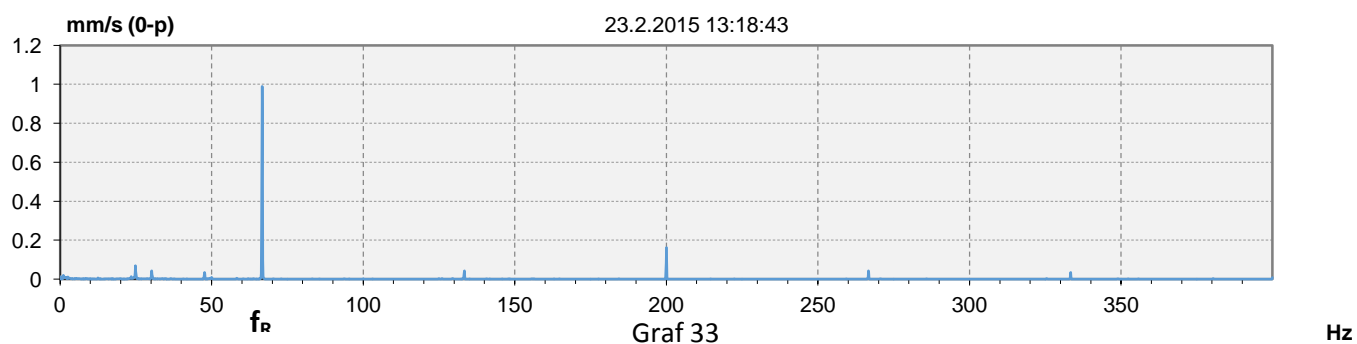
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 29 - horní ložisko, Graf 30 - dolní ložisko)



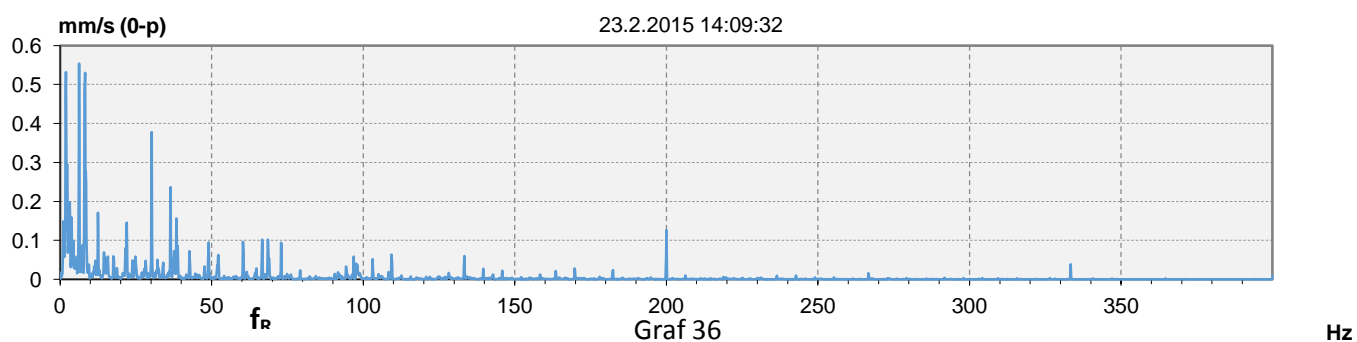
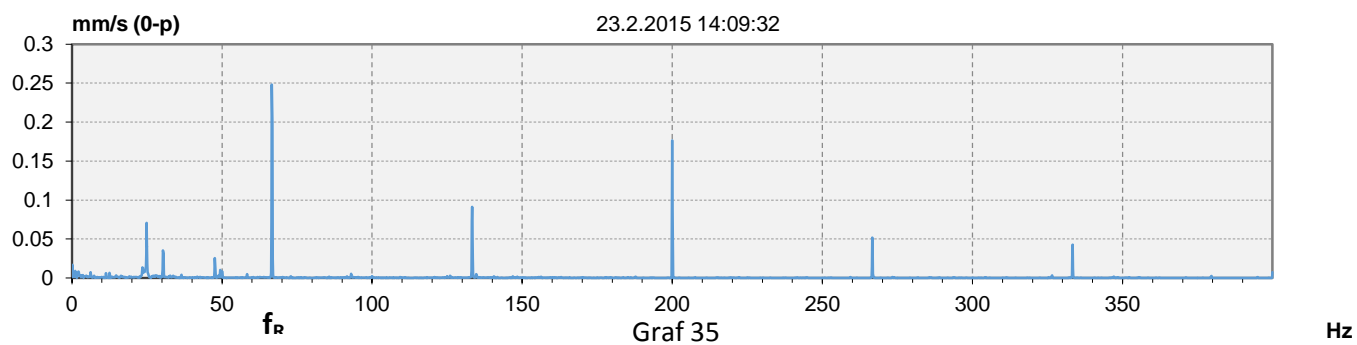
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 31 - horní ložisko, Graf 32 - dolní ložisko)

### 3.6.2.6. GM-09

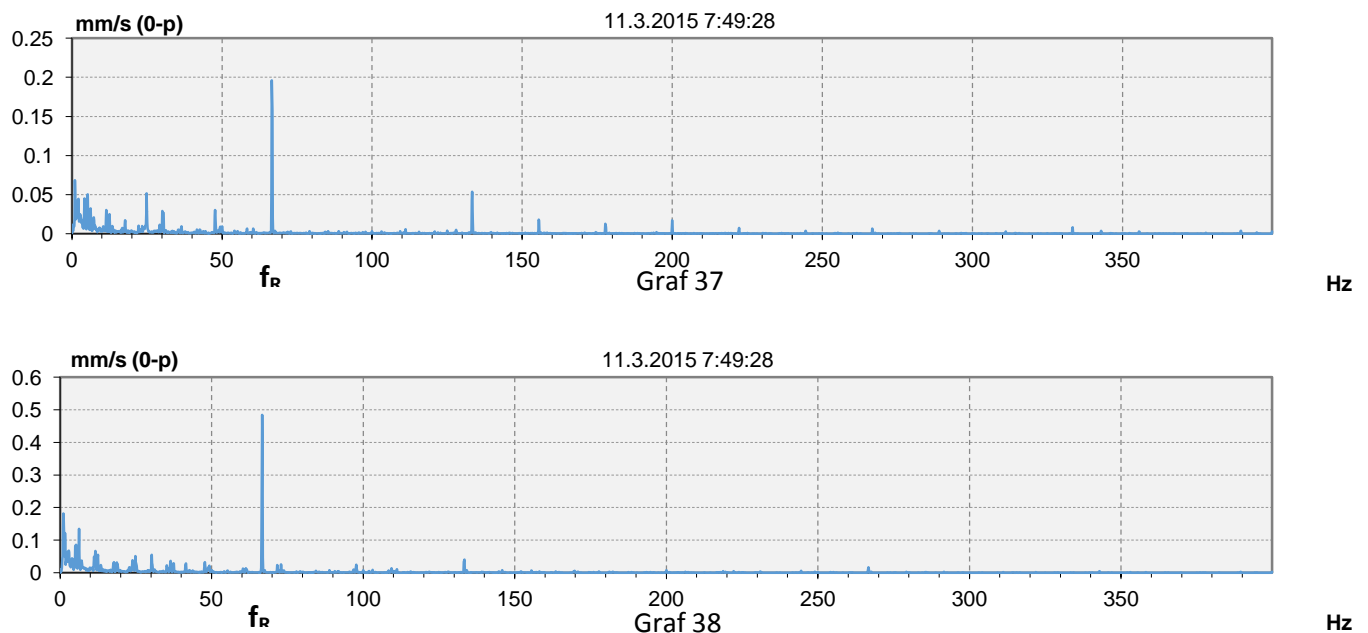
Stroj GM-09 byl velmi specifický svým frekvenčním spektrem (viz. Graf 33, Graf 34). Nejprve vykazoval velkou nevyváženost hlavního vřetena a následně po jeho vyvážení (viz. Graf 35, Graf 36) se ve frekvenčním spektru objevily náhodné vysoké amplitudy na nízkých frekvencích (viz. Graf 37, Graf 38). Mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,782 mm/s a na spodním ložisku RMS 1,111 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,253 mm/s (horní ložisko) a 0,703 mm/s (spodní ložisko). To bohužel nestačilo a musel jsem vyměnit deublin, abych odstranil nadměrné vibrace na stroji a snížil je na únosnou mez RMS na 0,189 mm/s (horní ložisko) a 0,427 mm/s (spodní ložisko).



Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 33 - horní ložisko, Graf 34 - dolní ložisko)



Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 35 - horní ložisko, Graf 36 - dolní ložisko)



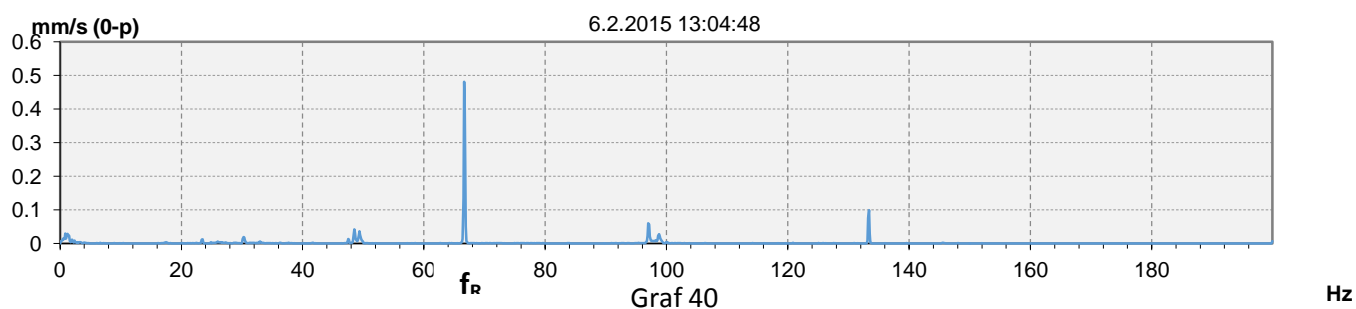
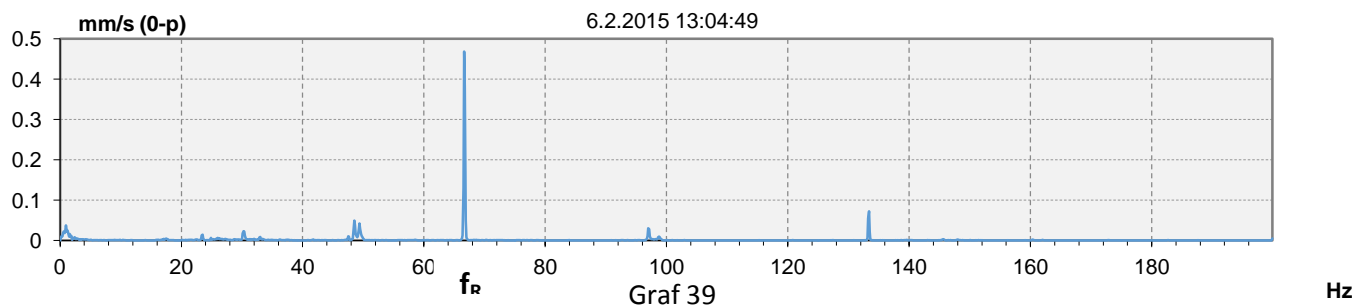
Frekvenční spektra po výměně deublinu (Graf 37 - horní ložisko, Graf 38 - dolní ložisko)

### 3.6.3. Měření na GM-10, GM-11, GM-12

Stroje GM-10 až GM-12 jsou osazeny dvěma diagnostikovanými vřeteny (hlavním a vysokorychlostním od firmy GMN). Postup měření a diagnostika na vysokorychlostním vřetenu jsem již popsal v kapitole 3.6.1. Pro měření na hlavním vřetenu bylo nejprve zapotřebí určit umístění ložisek (viz. kapitola 3.5.) a vyvažovací roviny na upínací hlavě vřetene. Zde je jedna vyvažovací rovina o poloměru 102 mm s 16 závitovými otvory M8. Po určení těchto parametrů jsem připojil vibrodiagnostické zařízení stejně jako při diagnostice ložisek a spustil stroj.

#### 3.6.3.1. GM-10

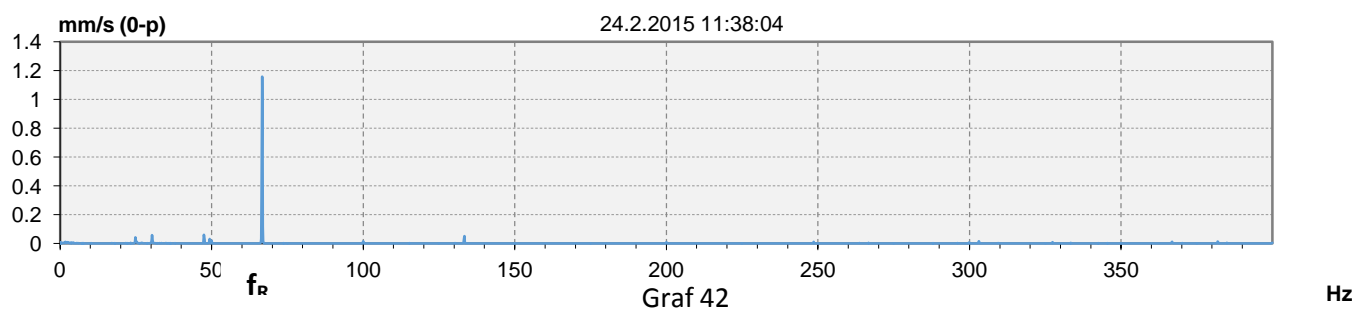
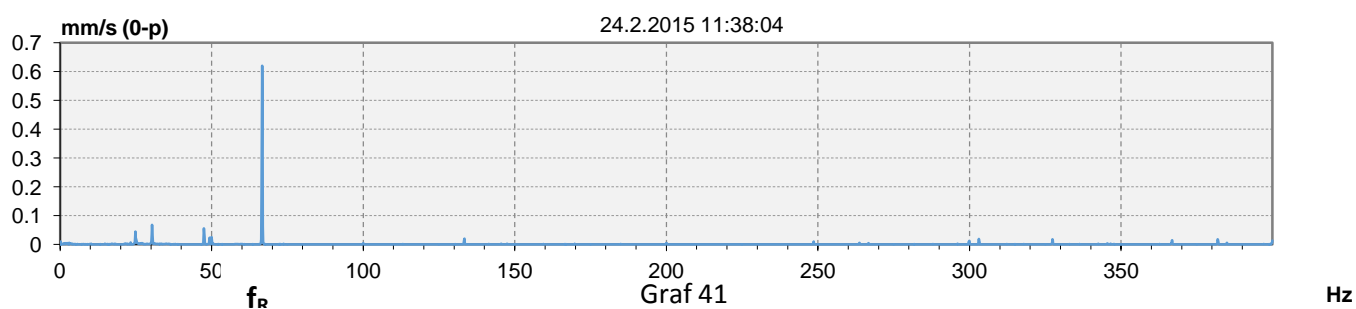
Frekvenční spektrum stroje GM-10 vykazovalo nízké amplitudy na rotorové frekvenci (viz. Graf 39, Graf 40) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,369 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,368 mm/s. Což dle normy 10816 spadá do oblasti A, tudíž nebylo zapotřebí sebemenších úprav.



Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 39 - horní ložisko, Graf 40 - dolní ložisko)

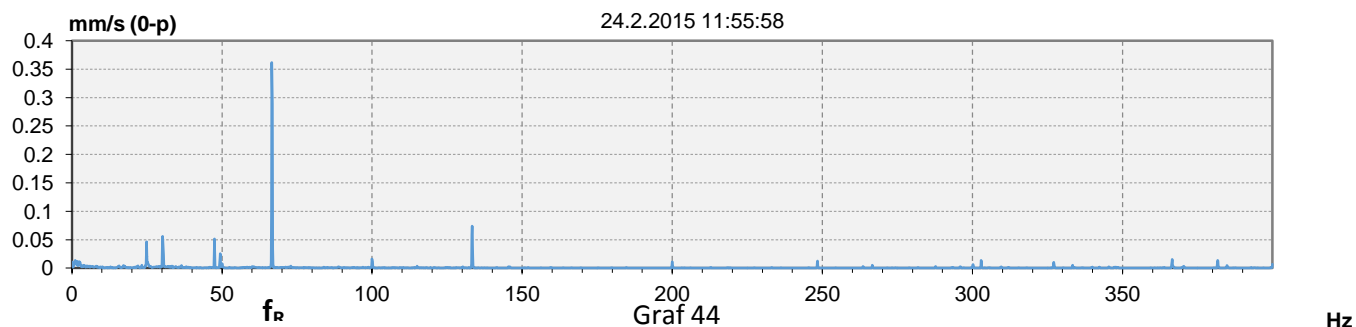
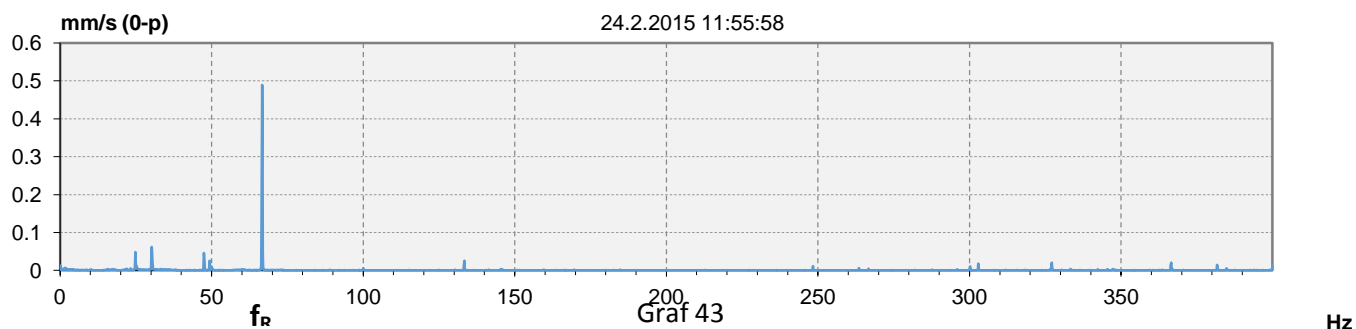
### 3.6.3.2. GM-11

Stroj GM-11 vykazoval vysoké amplitudy na rotorové frekvenci spodního ložiska (viz. Graf 41, Graf 42). Mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,477 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,888 mm/s. Následným vyvážením v jedné rovině se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,394 mm/s (horní ložisko) a 0,305 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 43, Graf 44).



Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 41 - horní ložisko, Graf 42 - dolní ložisko)

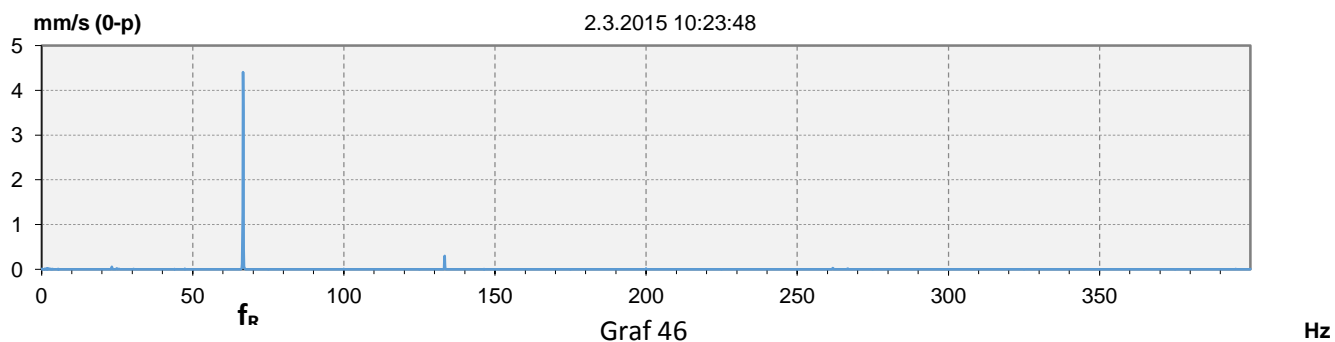
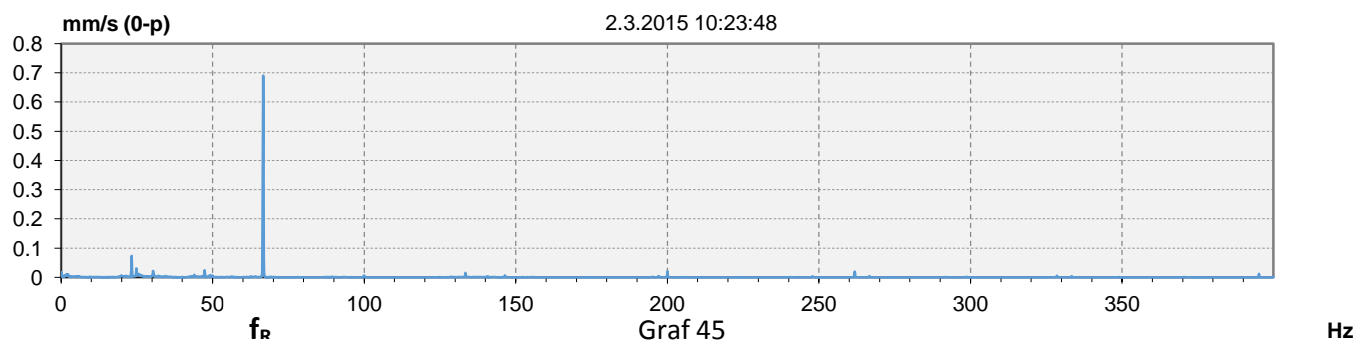




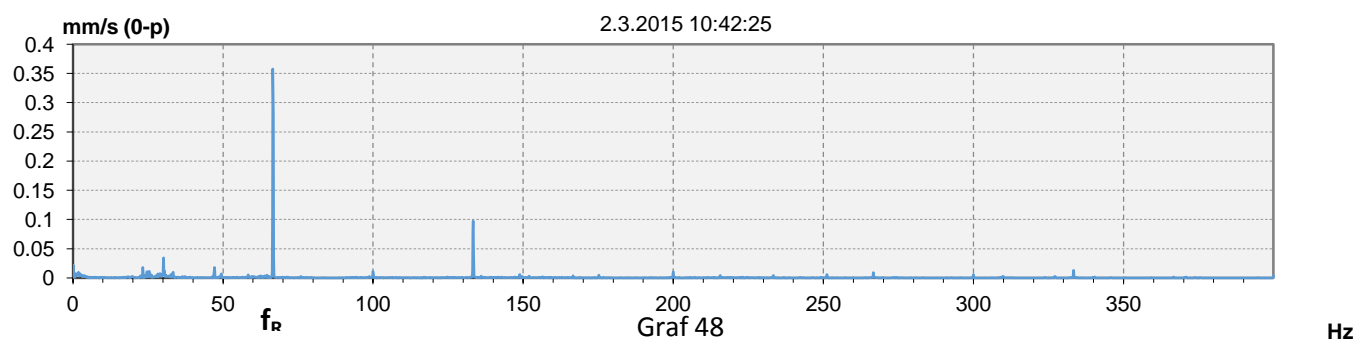
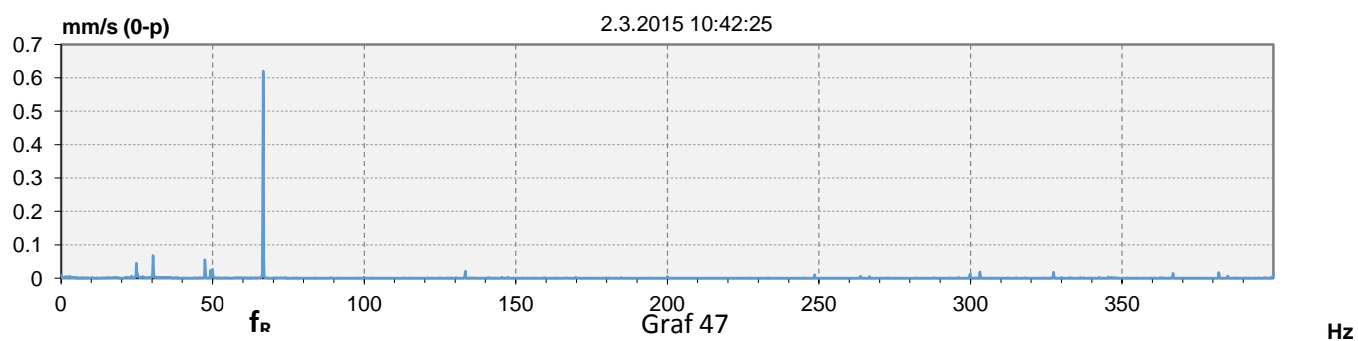
Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 43 - horní ložisko, Graf 44 - dolní ložisko)

### 3.6.3.3. GM-12

Na tomto stroji vznikaly extrémně vysoké amplitudy na rotorové frekvenci spodního ložiska (viz. Graf 45, Graf 46) a mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,516 mm/s a na spodním ložisku RMS 3,434 mm/s. To bylo způsobeno jiným typem upínací hlavy než je na strojích GM-10 a GM-11 (1. vyvažovací rovina: poloměr 102 mm s 16 otvory M8, 2. vyvažovací rovina: poloměr 61 mm s 12 otvory M8). Následným vyvážením ve dvou rovinách se mi podařilo snížit hodnotu RMS na 0,594 mm/s (horní ložisko) a 0,164 mm/s (spodní ložisko). Nejlépe je to vidět na frekvenčním spektru (viz. Graf 47, Graf 48). Pro dosažení vyvažovacích hmotností jsem musel použít speciální wolframové šrouby kvůli vyšší hmotnosti.



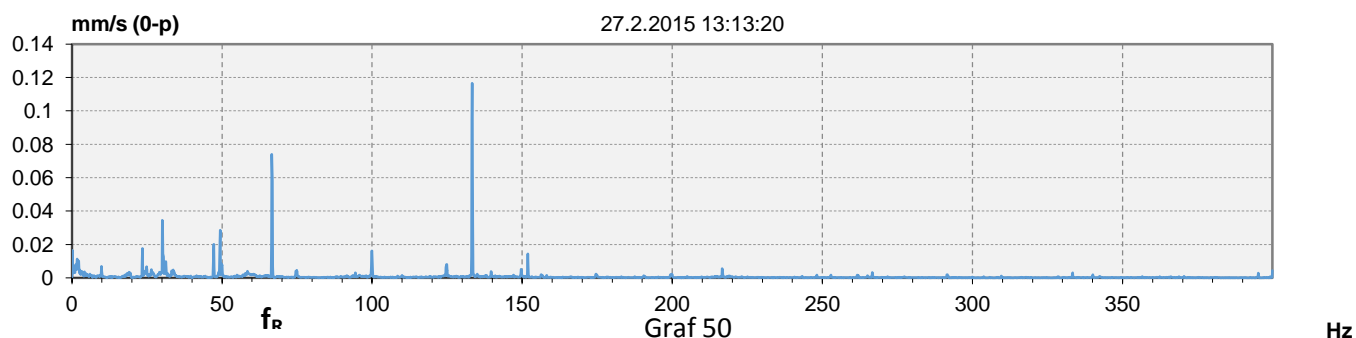
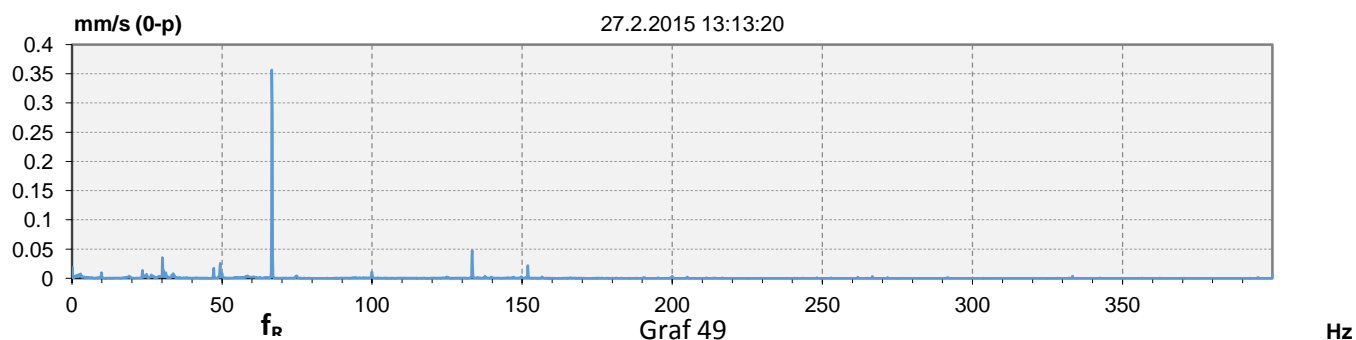
Frekvenční spektra před vyvážením (Graf 45 - horní ložisko, Graf 46 - dolní ložisko)



Frekvenční spektra po vyvážení (Graf 47 - horní ložisko, Graf 48 - dolní ložisko)

### 3.6.4. Měření na GM-20

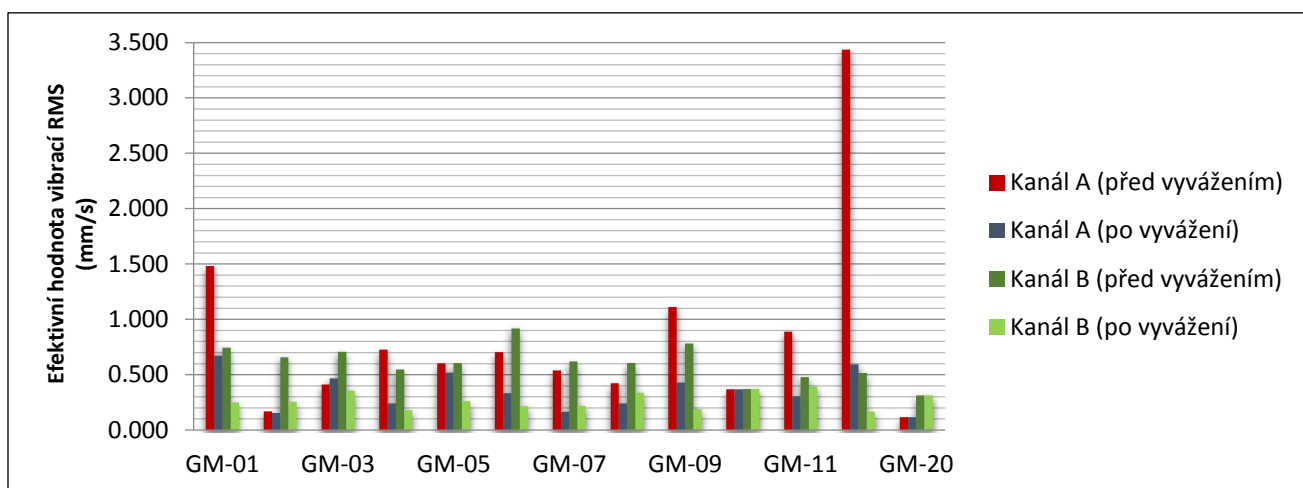
Tento stroj, jak už jsem v práci uvedl je poměrně nový, tudíž jeho opotřebení není nikterak závažné. Což bylo pro tuto práci přínosem, jelikož jsem mohl naměřené hodnoty porovnat se stroji o pět let staršími a použít ho jako etalon. V měření jsem postupoval naprosto stejně jako u ostatních strojů, nejprve jsem měřil RMS a poté frekvenční spektrum ložisek na hlavním vřetenu. Mohutnost vibrací dosahovala na horním ložisku RMS 0,312 mm/s a na spodním ložisku RMS 0,115 mm/s. Pouze na spodním ložisku vykazuje frekvenční spektrum jistou nesouosost zřejmě mezi deublinem a vřetenem. Jedná se o velmi malé amplitudy, tudíž jsem žádné nápravné opatření neprováděl.



Frekvenční spektra stroje GM-20 (Graf 48 - horní ložisko, Graf 50 - dolní ložisko)

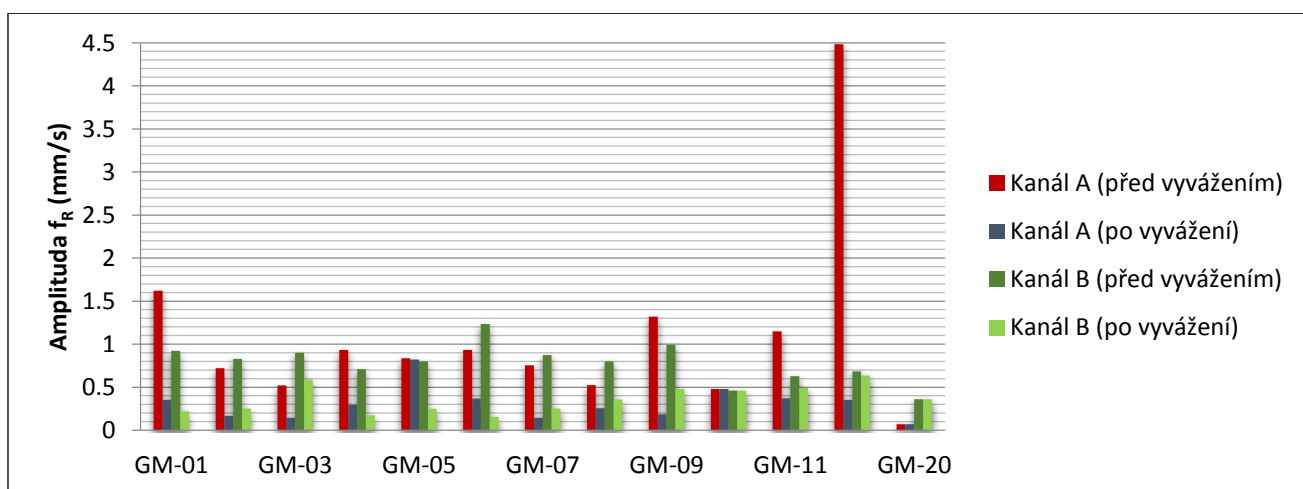
### 3.6.5. Porovnání naměřených hodnot před a po analýze

Jako hlavní a prvotní parametr měřený na většině strojů je efektivní hodnota vibrací (RMS). Tento parametr udává mohutnost vibrací na stroji a je velmi důležité ho snížit na minimum nebo alespoň na přípustné maximum. Pro srovnání naměřených hodnot před a po analýze jsem vytvořil graf (obr.17) ukazující hodnoty před a po analýze.



Obr. 17 Porovnání efektivní hodnoty rychlostí (RMS) před a po vyvážení

Pro samotnou kontrolu stavu před a po vyvážení je velmi důležitý parametr amplituda vibrací na rotorové frekvenci. Jelikož je i jedním z parametrů, který ukazuje na kvalitu vyvážení. Proto jsem vytvořil tabulku (obr. 18) v níž jsou vidět hodnoty amplitud před a po vyvážení na jednotlivých kanálech (ložiskách).



Obr. 18 Porovnání maximálních hodnot amplitud rotorových frekvencí před a po vyvážení

### 3.7. Návrh orientačních mezních hodnot vibrací pro posouzení stavu poškození součástí obráběcích strojů

Firma INDEX vyrábí a dodává hlavní vřetena stroje V 160 C se stupněm jakosti vyvážení G 2,5. To odpovídá dle normy ČSN ISO 1940-1 přípustnému zbytkovému specifickému nevývážku  $e_{per}=6$  gmm/kg při otáčkách 4000 1/min.

Přípustný zbytkový nevývážek

$$U_{per} = 1000 \cdot \frac{(e_{per} \cdot \Omega) \cdot m}{\Omega} = 1000 \cdot \frac{2,5 \cdot 88}{418,6} = 525,56 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

Číselná hodnota stupně jakosti vyvážení pro G 2,5

$$(e_{per} \cdot \Omega) = 2,5 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

Číselná hodnota úhlové rychlosti provozních otáček

$$\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 4000}{30} = 418,6 \text{ rad/s}$$

Celková hmotnost rotoru

$$m = 88 \text{ kg}$$

Tab. 3 Kritéria širokopásmových vibrací pro hlavní vřeteno stroje INDEX V 160 C ve třídě 1

Efektivní hodnota rychlosti vibrací mm/s	Třída I
0,23	Stroj je ve výborném stavu z hlediska vibrací.
0,24-0,58	Stroj vykazuje mírně zvýšené vibrace, ale může být provozován po neomezeně dlouhou dobu.
0,59-2,24	Stroj je v oblasti vibračního pásma, které je z dlouhodobého hlediska neuspokojivé a je zapotřebí vibrace snížit.
2,25	Stroj je v oblasti vibračního pásma, které může vyvolat vážné poškození stroje a je zapotřebí vibrace snížit.

Efektivní hodnoty vibrací jsem určil přísněji, než udává norma ČSN ISO 1940-1 jak po domluvě s firmou tak díky vlastním zkušenostem s měřením vibrací na strojích. Tyto hodnoty jsem zároveň nastavil do přístroje SCHENCK

SmartBalancer takže kdokoli bude měřit na strojích INDEX, okamžitě uvidí, v jaké oblasti se zrovna nachází.

Vysokorychlostní vřetena od firmy GMN jsou vyráběna se stupněm jakosti vyvážení G 1. To odpovídá dle normy ČSN ISO 1940-1 přípustnému zbytkovému specifickému nevývážku  $e_{per} = 1,4 \text{ gmm/kg}$  při otáčkách 8000 1/min.

Přípustný zbytkový nevývažek

$$U_{per} = 1000 \cdot \frac{(e_{per} \cdot \Omega) \cdot m}{\Omega} = 1000 \cdot \frac{1 \cdot 10}{837,8} = 11,93 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

Číselná hodnota stupně jakosti vyvážení pro G 1

$$(e_{per} \cdot \Omega) = 21 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

Číselná hodnota úhlové rychlosti provozních otáček

$$\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 8000}{30} = 837,8 \text{ rad/s}$$

Celková hmotnost rotoru

$$m = 10 \text{ kg}$$

Maximální přípustné efektivní hodnoty rychlosti vibrací (RMS) jsou 1,12 mm/s.

### 3.8. Způsob analýzy provedených měření

Z hlediska diagnostiky hlavních vřeten můžou nastat tři základní problémy. První je nevyváženost hlavního vřetene stroje, která je jasně definována vysokou amplitudou na rotorové frekvenci  $f_R = 66,67 \text{ Hz}$ , pro její snížení je zapotřebí rotor vyvážit. To buď v jedné rovině, nebo ve dvou rovinách podle toho jaké možnosti dané vřeteno přináší nebo o jaký typ nevyváženosti se jedná (statická, momentová, dynamická). Pokud se jedná o statickou nevyváženost, stačí ji odstranit vyvážením v jedné rovině. Projevuje se výraznou amplitudou v radiálním směru na obou ložiskách a fáze amplitud na rotorové frekvenci mezi jednotlivými ložisky je rovna nule ( $\pm 20^\circ$ ). Tento postup je nejjednodušší a ve většině případů i velice účinný.

Momentová nevyváženost lze odstranit pouze vyvážením ve dvou rovinách a projevuje se výraznou amplitudou v radiálním směru na obou ložiskách a fáze amplitud na rotorové frekvenci mezi jednotlivými ložisky je rovna  $180^\circ (\pm 20^\circ)$ .

Dynamickou nevyváženost lze rovněž odstranit pouze vyvážením ve dvou rovinách a projevuje se výraznou amplitudou v radiálním směru na obou ložiskách a fáze amplitud na rotorové frekvenci má stabilní hodnotu s kolísáním v mezích  $(\pm 20^\circ)$ . Pro vyvážení dynamické nevyváženosti je optimální použít dvoukanalový měřicí přístroj s příslušným software.

Druhý problém, který může nastat na hlavním vřetení je poškozený nebo uvolněný deublin. Tento problém se projevuje ve frekvenčním spektru náhodnými vysokými amplitudami na nízkých frekvencích (viz. Graf 36) a lze vyřešit pouze výměnou nebo opravou deublinu.

Třetím typem mohou být poškozená kuličková ložiska buď na hlavním vřetení, nebo na vysokorychlostním vřetení. Poškozená ložiska se projevují ve frekvenčním spektru přítomností harmonických frekvencí rotorové frekvence (až  $20 \times f_R$ ). K rychlejší analýze valivých ložisek na obou vřetenech jsem použil obálkovou analýzu, která zvyšuje schopnost analyzovat závady valivých ložisek v počátečním stavu.

Vyvažování v jedné rovině jde s přístrojem SCHENCK SmartBalancer provádět dvěma způsoby. Buď jsem postupoval klasickým způsobem vyvažování pomocí jednopolehové metody, což bylo v některých případech rychlejší, ale o to méně pohodlnější. Druhým způsobem je vyvažování pomocí software přístroje SmartBalancer, který dokáže určit podle zadaných hodnot určit vyvažovací závaží a stroj dobře vyvážit. Tento způsob je velmi uživatelsky příznivý, ale ne vždy tak dokonalý jako předchozí postup.

## 4. ZÁVĚR

Na závěr bych nejprve shrnul splnění cílů diplomové práce. Z počátku jsem se musel seznámit se samotnou problematikou vyvažování a vibrodiagnostiky jelikož jsem byl před psaním této práce úplný laik. K tomu mi z velké části pomohl předmět technická diagnostika vyučovaný na katedře vozidel a motorů a zároveň školicí materiály dodané k přístroji SCHENCK SmartBalancer. Po seznámení se se samotnou problematikou a přístrojem SCHENCK SmartBalancer jsem dokázal proškolit i pracovníky údržby na tolik, aby sami v případě nějakého problému dokázali sami diagnostikovat příčinu stroje, motoru či vřetene.

Druhým bodem této práce bylo porovnání finanční návratnosti vibrodiagnostického přístroje. Zhodnocení finanční návratnosti jsem popsal v kapitole 2.3. Ve zkratce jsem tímto zhodnocením dokázal, že se tento přístroj opravdu vyplatil. Jsou zde jasně vidět srovnatelné náklady přístroje s dvěmi servisními zásahy firmy INDEX. Vzhledem k tomu, že hlavní vřetena na všech strojích mají překročen maximální počet pracovních hodin deklarovaných firmou INDEX (20 000 h) kromě strojů GM-05 a GM-08, na kterých už hlavní vřetena byla vyměněna, je s velkou pravděpodobností možné, že se na některém z nich mohou ložiska poškodit. Proto by se z dlouhodobého hlediska nevyplatilo preventivně sledovat stav hlavních vřeten servisními technikami firmy INDEX.

Třetím cílem diplomové práce bylo změření a případné snížení vibrací na všech strojích INDEX V 160 C, což se mi bez výjimky podařilo na všech strojích. Naštěstí stačilo na všech strojích ke snížení vibrací „pouhé“ vyvážení v jedné nebo ve dvou rovinách bez větších zásahů do stroje nebo větších odstávek kromě stroje GM-09, na kterém se musel měnit deublin. Ovšem výměna deublinu se nedá považovat za nikterak časově náročnou.

Čtvrtý bod v cílech této práce bylo nastavení preventivní údržby a zároveň zavedením prediktivní údržby pro technické oddělení Trutnovské lokace. To se mi podařilo zavedením pravidelných intervalů měření na strojích INDEX V 160 C do plánů údržby. Co se týká prediktivní údržby ta byla provedena nastavením samotné diagnostiky frekvenčních spekter a měřením stavu ložisek pomocí obálkové analýzy při preventivních měřeních. Díky nastavení prediktivní údržby nejenom pro hlavní vřetena, ale i pro vysokorychlostní vřetena je předpokládána hlavně velká úspora z hlediska prostojů strojů. Jelikož při neplánované odstávce stroje způsobené poruchou hlavního vřetene může dojít



k odstavení stroje až na jeden měsíc a finanční ztrátě několika milionů. Prediktivní údržbou je možné tento problém v dostatečném předstihu predikovat a snížit odstávku stroje s finanční ztrátou přinejmenším alespoň na jednu třetinu. Další předpokládanou úsporou je i kontrola vysokorychlostních vřeten, u nichž není tak velký problém při samotné výměně, ale spíše jejich obrovská náchylnost na správně mazaná ložiska a z toho plynoucí nižší životnost vřeten. Vliv prediktivní údržby je v tom, aby při možných problémech s ložisky bylo v dostatečném předstihu připraveno náhradní vřeteno případně více vřeten. Rovněž založení prediktivní údržby bude mít pozitivní vliv na snížení stavu náhradních dílu na skladě technického oddělení.

Posledním cílem této práce bylo vytvoření metodiky vibrační diagnostiky na strojích Index. Což jsem pojal z několika pohledů. Jeden z nich bylo vytvoření mezních hodnot vibrací pro hlavní vřetena a vysokorychlostní vřetena. Tuto problematiku jsem řešil pomocí normy ČSN ISO 10816-1 i s firmou INDEX a GMN, které jsem i osobně navštívil a tuto problematiku řešil s techniky těchto firem (viz. kapitola 3.7.). Dalším bylo sepsání postupu měření na strojích INDEX V 160 C. Samotný postup měření je důležitý hlavně pro technology a pracovníky údržby, kteří měli zájem o vibrodiagnostiku a vyvažování. Samozřejmě pro optimální a objektivní měření na strojích bylo zapotřebí určit a jednoznačně umístit měřicí body, ty jsem popsal v kapitole 3.5. K umístění měřicích bodů jsem použil kyanoakrylátového lepidlo, jelikož jsem usoudil, že tato možnost je nejrychlejší a nejefektivnější s minimálním zásahem do stroje.

Dalšími pozitivy této práce je předpokládané zvýšení životnosti vřeten, respektive jejich ložisek, ale i nástrojů.


Celkem bych tedy shrnul tuto práci. Finanční stránka práce a její úspora, která je důležitá hlavně pro samotnou výrobu a Continental jakožto celou firmu. Druhou stránkou práce je započetí prediktivní údržby, což bude mít hlavní důsledek pro oddělení údržby a jejich úspory na náhradních dílech, i když provázanost těchto dvou hlavních dopadů této práce pro firmu Continental je velká a nedá se jednoznačně říci, který dopad bude pro dané oddělení důležitější. To ukáže až čas a praxe na kolik tato práce firmě pomůže, ale jako základní kámen prediktivní údržby bude určitě značný.

Tím, že se Trutnovská lokace zařadila mezi firmy, které aplikují prediktivní údržbu a diagnostikují své stroje. Pomohlo ke koupi nového diagnostického přístroje, kterým lze sledovat stav kuličkových šroubů a lineárních vedení. I díky tomu, že trutnovská lokace

postoupila na úroveň prediktivní údržby, bylo vedením koncernu rozhodnuto o dalších velkých projektech zahrnující i další CNC obráběcí stroje, což znamená nové pracovní pozice a přínos nových technologií.

## Seznam použité literatury

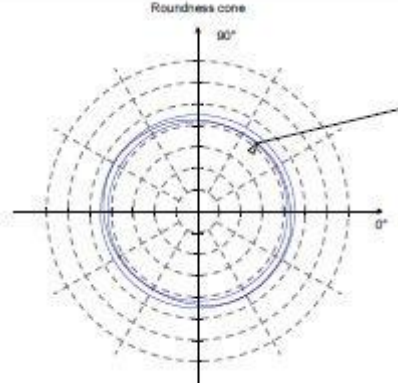
- [1] BENEŠ, Štěpán a Elias TOMEH. *Metody diagnostiky valivých ložisek*. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, Liberec, 1991
- [2] TOMEH, Elias. *Technická diagnostika: vibrační diagnostika strojů a zařízení*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2015
- [3] JANDÁK, Zdeněk. *ČSN ISO 10816-1 Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecná směrnice*. Český normalizační institut, Praha, 1997
- [4] JANDÁK, Zdeněk. *ČSN ISO 10816-3 Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ*. Český normalizační institut, Praha, 2010
- [5] BORŮVKA, Vladimír. *ČSN ISO 1940-1 Požadavky na jakost vyvážení rotorů v konstantním (tuhém) stavu – Část 1: Stanoví vyvažovacích tolerancí a ověření nevyváženosti*. Český normalizační institut, Praha, 2005
- [6] TOMEH, Elias a Pavel NĚMEČEK. *Vibrační diagnostika základních závad strojů*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2010
- [7] JANOUŠEK, I. *Technická diagnostika*. SNTL, Praha, 1988
- [8] TOMEH, Elias. *Methodology of Rolling Element and Journal Bearings*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2007
- [9] Publikace firmy SCHENCK
- [10] Publikace firmy INDEX
- [11] Publikace firmy GMN

	<b>MarWin</b> 2.10-12 SP 16	<b>Mahr GmbH Göttingen</b> Brauweg 38, 37073 Göttingen Anwendungstechnik	<b>17.2.2015</b> <b>1</b> 14:16:38 Kontrolor: <b>Sabev</b> Podpis:
Díl: <b>OK [ ] NOK [ ]</b>		Číslo výtisku:                      Krok obrábění:	
díl c.: 1		šarže: GM01	
zakázka: SPC		zakázka c.: <b>MFU100 1220_08</b>	
Komentář: : BC60			

Interval pol.: 0.10°  
 D snímk. kulčky: 1.0000 mm  
 Filtrování: 50 vln  
 50% Gauss  
 Zesílení: 3  
 F: 0.04 N  
 MZC

Roundness cone

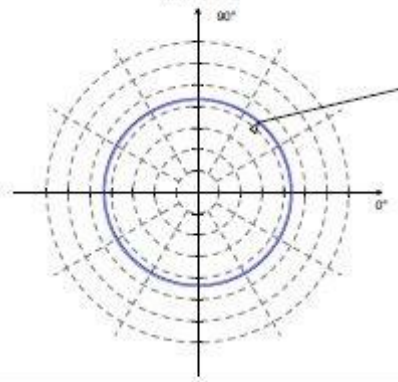


Exc: 0.28 µm, 350.45°

Interval pol.: 0.10°  
 D snímk. kulčky: 1.0000 mm  
 Filtrování: 50 vln  
 50% Gauss  
 Zesílení: 3  
 F: 0.04 N  
 MZC

Runout cone



Exc: 0.28 µm, 340.60°

Feature	Type	Tol. [µm]	Dev. [µm]
S12 Kruhovitosť	<input checked="" type="checkbox"/>	1,000	0,327

Feature	Type	Datum	Tol. [µm]	Dev. [µm]
C28 Radial runout	<input checked="" type="checkbox"/>	Axis G	20,000	0,449

Path: C:\Mahr\Users\Continental\_Automotive\Scripts\Cylinder\_eccentric\_on\_edge\_sav.mpr

Edge: 107.58697  
 Program draw: 00:06:21

**Measuring: 1/1**

Příloha 2

	<b>MarWin</b> 2.10-12 SP 16	<b>Mahr GmbH Göttingen</b> Brauweg 38, 37073 Göttingen Anwendungstechnik	<b>17.2.2015</b> <b>1</b> 10:52:07 Kontrolor: <b>Sabev</b> Podpis:
	Díl: <b>OK [ ] NOK [ ]</b> Číslo výkresu:    Krok obrábění:		<b>MFU100 1220_08</b>
díl c.: <b>1</b> šarže: <b>GM01</b>			
zakázka: <b>SPC</b> zakázka c.:			
Komentář: <b>: BC60</b>			

Interval pol.: 0.10°  
 D an/m. kulčky: 1.0000 mm  
 filtrováno: 50 vlot  
 50% Gauss  
 Zesílení: 3  
 F: 0.04 N  
 MZC

Roundness cone

Ex: 0.11 µm, 104.19°

Interval pol.: 0.10°  
 D an/m. kulčky: 1.0000 mm  
 filtrováno: 50 vlot  
 50% Gauss  
 Zesílení: 3  
 F: 0.04 N  
 MZC

Runout cone

Ex: 3.05 µm, 129.65°

Feature	Type	Tol. [µm]	Dev. [µm]
S12 Kružovitost	<input checked="" type="checkbox"/>	1,000	0,487


Feature	Type	Datum	Tol. [µm]	Dev. [µm]
C28 Radial runout	<input checked="" type="checkbox"/>	Axis G	20,000	6,048

Path: C:\Mahr\Users\Continental\Autonative\Scripts\Cylinder\_excentric\_ok\_edge\_new.rpt

Edge: 107.53732  
Program time: 00:00:40

Příloha 3



**SCHENCK**  
 RoTec GmbH  
 Landwehrstrasse 55  
 64293 Darmstadt, Germany

Page 1/1

Customer Continental

Inspector	Lukáš Procházka	Measured on	17.2.2015, 12:04:35
Machine	GM-01	Transferred on	17.2.2015, 16:03:10
Comment			
Task	user		
Filename	RMS-after_B (Dualchannelreading - Channel B)		

P-P	O-P	RMS	Date	Unit
1.609	0.826	0.250	17.2.2015 12:04:35	mm/s

Notice: Měření hodnoty RMS po vyvážení na spodním ložisku hlavního vřetene. Snížení vibrací více jak o 60%

Sign

